


|   |   |
|---|---|
|  <p>UNIVERSIDAD<br/><b>PABLO<sup>d</sup><br/>OLAVIDE</b><br/>S E V I L L A</p> | <p>Departamento de</p> <p>Deporte e Informática</p> |
|---|---|

**Estudio de la relación entre la ecografía cuantitativa del cuádriceps y el salto  
vertical en niños en edad escolar**

**TESIS DOCTORAL**

**Autor: Juan Carlos Giraldo García**

**Directora: Dra. María Elena Hernández-Hernández**

Sevilla, octubre de 2020.

*Todas las personas mayores  
fueron al principio niños,  
aunque pocas de ellas lo recuerdan.*

**Antoine de Saint-Exupéry**

## **Agradecimientos**

Imposible recorrer este camino solo. Todos los acompañantes permitieron que llegara hasta aquí. Son tantos que, con toda seguridad, dejaré personas importantes sin mencionar. Agradecer es enaltecer acciones que en muchas ocasiones quienes las realizan no las consideran importantes, porque lo hacen sin interés y con amor.

A la Dra. María Elena Hernández, quien desde que acepto ser mi directora y tutora de tesis, abriéndome las puertas de la UPO, me brindó todo su apoyo, impartiendo enseñanzas desde el hacer de una manera práctica, oportuna y concreta. Mi profunda gratitud por brindarme siempre su tiempo a pesar de sus ocupaciones, particularmente las inherentes a su rol de madre. Un Dios le pague.

A mis padres. Mi papá, Chunaló, un trabajador incansable, de quien aprendí la importancia de estudiar y la rectitud. No aprendí más de él porque su partida fue muy temprana para mí. Mi mamá, La Negra, mi gran amor. Mis hermanos, soporte en cada momento que necesité de alguno de ellos. Diego, desde donde esté, también ha salido en mi ayuda. Mis compañeros, consejos oportunos cuando los solicité.

Ana Piedad y Juanita, mi esposa y mi hija, luz en el momento que la necesito en mi trasegar. Apoyo cuando las cosas no salen bien y silencio cuando las soluciones requieren espacios tranquilos para fluir.



## Índice

|  |    |
|--|----|
| Relación de tablas .....   | 8  |
| Relación de figuras .....  | 9  |
| Glosario de acrónimos .....  | 10 |
| 1. Introducción .....  | 13 |
| 2. Fundamentación teórica .....  | 15 |
| 2.1 Efectos del ejercicio físico en niños .....                                    | 15 |
| 2.1.1 Efectos del ejercicio físico sobre la condición física .....                 | 16 |
| 2.1.2 Efecto del entrenamiento de fuerza en el niño .....                          | 22 |
| 2.1.3 La potencia anaeróbica en el niño .....                                      | 30 |
| 2.2 Medios de evaluación .....   | 34 |
| 2.2.1 Evaluación de la potencia del salto vertical .....                           | 35 |
| 2.2.2 Ultrasonido musculoesquelético .....   | 38 |
| 2.2.3 Evaluación de los cambios de la arquitectura del músculo por ecografía ..... | 47 |
| 3. Planteamiento del problema y objetivos .....                                    | 53 |
| 3.1 Objetivos generales: .....   | 56 |
| 3.2 Objetivos específicos: .....   | 56 |
| 4. Metodología .....   | 57 |
| 4.1 Muestra .....  | 57 |
| 4.2 Diseño .....   | 58 |
| 4.3 Instrumental .....   | 60 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.3.1 | Ultrasonido cuantitativo.....   | 60 |
| 4.3.2 | Fuerza explosiva. ....  | 61 |
| 4.3.3 | Antropometría.....  | 63 |
| 4.4   | Procedimiento.....  | 63 |
| 4.5   | Análisis Estadístico .....  | 67 |
| 4.5.1 | Correlaciones entre medidas ecográficas del cuádriceps y el salto vertical .....                    | 67 |
| 4.5.2 | Diferencias en salto vertical y medidas ecográficas del cuádriceps en escolares futbolistas.....    | 67 |
| 4.5.3 | Diferencias ecográficas del cuádriceps en diferentes modalidades deportivas. ....                   | 68 |
| 4.5.4 | Correlaciones entre EI muscular y salto vertical .....  | 68 |
| 5.    | Resultados.....   | 69 |
| 5.1   | Correlaciones entre medidas ecográficas del cuádriceps y el salto vertical.....                     | 69 |
| 5.2   | Diferencias en salto vertical y medidas ecográficas del cuádriceps.....                             | 73 |
| 5.3   | Diferencias ecográficas del cuádriceps en diferentes modalidades deportivas.....                    | 83 |
| 5.4   | Correlaciones entre EI muscular y salto vertical.....   | 86 |
| 5.5   | Modelo predictivo del porcentaje de fibras rápidas (%FT).....                                       | 92 |
| 5.5.1 | Modelo matemático: modelo lineal múltiple para evaluar el efecto del porcentaje de fibra (%FT)..... | 92 |
| 5.5.2 | Interpretación del modelo final:.....   | 93 |
| 5.5.3 | Validación de los residuos de los modelos .....   | 94 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.    | Discusión.....   | 95  |
| 6.1   | Correlaciones entre medidas ecográficas del cuádriceps y el salto vertical.....  | 95  |
| 6.2   | Diferencias en salto vertical y medidas ecográficas del cuádriceps.....          | 98  |
| 6.3   | Diferencias ecográficas del cuádriceps en diferentes modalidades deportivas..... | 100 |
| 6.3.1 | Eco-intensidad.....  | 100 |
| 6.3.2 | Espesor graso y muscular.....  | 102 |
| 6.3.3 | Ángulo de pennación.....   | 103 |
| 6.4   | Correlaciones entre EI muscular y salto vertical.....                            | 104 |
| 6.5   | Modelo predictivo del porcentaje de fibras rápidas (%FT).....                    | 110 |
| 7.    | Conclusiones.....  | 113 |
| 8.    | Aplicaciones prácticas .....   | 114 |
| 9.    | Limitaciones.....  | 115 |
| 10.   | Referencias bibliográficas.....  | 117 |
| 11.   | Anexos .....   | 136 |
| 11.1  | Anexo 1. Cuestionario PAQC .....   | 136 |
| 11.2  | Anexo 2. Consentimiento informado.....   | 139 |
| 11.3  | Anexo 3. Asentimiento .....  | 141 |
| 11.4  | Anexo 4. Aval comité de Ética.....   | 142 |

### Relación de tablas

| N° de Tabla | Título  | Página |
|-------------|---|--------|
| 1           | Estadística descriptiva. Modalidades deportivas.  | 57     |
| 2           | Estadísticos descriptivos de las variables medidas en la prueba piloto  | 70     |
| 3           | Matriz de correlación de Pearson y valor-p de las pruebas de significancia de la correlación (abajo) y de asociación (arriba). Prueba piloto. | 72     |
| 4           | Características de los participantes (Media y Desviación estándar) y diferencias en salto y eco en fútbol.                                    | 73     |
| 5           | Variables ecográficas y funcionales (diferencias en salto y eco en fútbol).   | 74     |
| 6           | Distribución de las características ecográficas cuantitativas según tipo de deporte (niños).  | 84     |
| 7           | Distribución de las características ecográficas cuantitativas según tipo de deporte. Niñas y niños.   | 85     |
| 8           | Estadística descriptiva. Correlaciones entre EI y Salto vertical.   | 87     |
| 9           | Análisis de regresión lineal múltiple con estimadores robustos. Variables explicativas del % FT   | 93     |
| 10          | Validación de los residuales del modelo de regresión lineal múltiple porcentaje de fibra (%FT)  | 94     |



### Relación de figuras

| Nº Figura | Título  | Página |
|-----------|---|--------|
| 1         | <i>Fenómenos de la onda de ultrasonido al pasar por un tejido (en este caso muscular)</i> | 41     |
| 2         | <i>Imágenes ecográficas</i>   | 62     |
| 3         | <i>Imágenes ecográficas</i>   | 63     |
| 4         | Protocolo de investigación  | 66     |
| 5         | <i>ET discriminada por grupo de edad y año.</i>   | 75     |
| 6         | <i>ERF discriminada por edad y año.</i>   | 76     |
| 7         | <i>EVI discriminado por Grupo de Edad y Año.</i>  | 77     |
| 8         | <i>ARF discriminado por Grupo de Edad y Año.</i>  | 78     |
| 9         | <i>EIRF discriminada por edad y año.</i>  | 79     |
| 10        | <i>EIVI discriminada por Grupo de Edad y Año.</i>   | 80     |
| 11        | <i>Dif2 discriminada por Grupo de Edad y Año.</i>   | 81     |
| 12        | <i>Dif3 discriminada por grupo de Edad y Año.</i>   | 82     |
| 13        | <i>PCMJ discriminada por Grupo de Edad y Año.</i>   | 83     |
| 14        | <i>Correlaciones generales. EI y variables del salto vertical</i>                         | 88     |
| 15        | <i>Correlaciones en niñas. EI y variables del salto vertical</i>                          | 90     |
| 16        | <i>Correlaciones en niños. EI y variables del salto vertical.</i>                         | 91     |

### Glosario de acrónimos

| <b>Acrónimo</b> | <b>Significado</b>   |
|-----------------|--|
| <b>%FT</b>      | % de fibras rápidas  |
| <b>ARF</b>      | Ángulo de penneación del recto femoral   |
| <b>AST</b>      | Área de Sección Transversa   |
| <b>AVL</b>      | Ángulo de penneación del vasto lateral   |
| <b>CMJ</b>      | Altura del salto con contra-movimiento en cms  |
| <b>Deporte</b>  | Modalidad deportiva que realiza en un club deportivo   |
| <b>Dif1</b>     | Diferencia entre eco-intensidad grasa y eco-intensidad del recto femoral   |
| <b>Dif1C</b>    | Diferencia entre eco-intensidad grasa y eco-intensidad del recto femoral corregidas  |
| <b>Dif2</b>     | Diferencia entre eco-intensidad grasa y eco-intensidad del vasto intermedio en región anterior del muslo   |
| <b>Dif2C</b>    | Diferencia entre eco-intensidad grasa y eco-intensidad del vasto intermedio corregidas   |
| <b>Dif3</b>     | Diferencia entre eco-intensidad grasa y media de eco-intensidad del recto femoral y el vasto intermedio  |
| <b>Dif3C</b>    | Diferencia entre eco-intensidad grasa y media de eco-intensidad del recto femoral y el vasto intermedio corregidas                                     |
| <b>Dif4</b>     | Diferencia entre eco-intensidad grasa y eco-intensidad del vasto lateral   |
| <b>Dif4C</b>    | Diferencia entre eco-intensidad grasa y eco-intensidad del vasto lateral corregidas  |
| <b>Dif5</b>     | Diferencia entre eco-intensidad grasa y eco-intensidad del vasto intermedio medida en región lateral externa del muslo                                 |
| <b>Dif5C</b>    | Diferencia entre eco-intensidad grasa y eco-intensidad del vasto intermedio medida en región lateral externa del muslo corregidas                      |
| <b>Dif6</b>     | Diferencia entre eco-intensidad grasa y media de eco-intensidad del vasto lateral y el vasto intermedio medidas en región externa del muslo            |
| <b>Dif6C</b>    | Diferencia entre eco-intensidad grasa y media de eco-intensidad del vasto lateral y el vasto intermedio medidas en región externa del muslo corregidas |
| <b>Edad</b>     | Edad decimal. Años + decimales de año  |
| <b>EG</b>       | Espesor del tejido celular subcutáneo medido por ecografía   |
| <b>EGL</b>      | Espesor graso medido por ecografía en región lateral del muslo   |
| <b>EIG</b>      | Eco-intensidad grasa región anterior del muslo   |
| <b>EIGL</b>     | Eco-intensidad grasa región lateral del muslo  |
| <b>EIRF</b>     | Eco-intensidad del recto femoral   |
| <b>EIRFC</b>    | Eco-intensidad del recto femoral corregida por espesor graso   |
| <b>EIVI</b>     | Eco-intensidad del vasto intermedio  |
| <b>EIVIC</b>    | Eco-intensidad del vasto intermedio corregida por espesor graso en región anterior del muslo   |
| <b>EIVIE</b>    | Eco-intensidad del vasto intermedio medida en región externa del muslo   |
| <b>EIVIEC</b>   | Eco-intensidad del vasto intermedio medida en región externa del muslo corregida por espesor graso   |
| <b>EIVL</b>     | Eco-intensidad del vasto lateral   |
| <b>EIVLC</b>    | Eco-intensidad del vasto lateral corregida   |

|                |   |
|----------------|---|
| <b>ERF</b>     | Espesor del recto femoral medido por ecografía  |
| <b>ESE</b>     | Nivel socioeconómico denominado en Colombia Estrato Socio Económico                       |
| <b>Est</b>     | Estatura en centímetros   |
| <b>ET</b>      | Espesor total del cuádriceps (recto femoral y vasto intermedio) medidos por ecografía     |
| <b>ETL</b>     | Espesor total del cuádriceps medido por ecografía en región lateral (EVL+EVIE)            |
| <b>EVI</b>     | Espesor del vasto intermedio medido por ecografía en región anterior del muslo            |
| <b>EVIE</b>    | Espesor del vasto intermedio medido por ecografía en región lateral                       |
| <b>EVL</b>     | Espesor del vasto lateral medido por ecografía  |
| <b>Género</b>  | Sexo. M: masculino. F: femenino.  |
| <b>IF</b>      | Índice de fatiga en saltos continuos por 15 segundos                                      |
| <b>IMC</b>     | Índice de masa muscular (Kg/m <sup>2</sup> )  |
| <b>Inst</b>    | Institución a la que pertenece la unidad de investigación                                 |
| <b>LDH</b>     | Lactato deshidrogenasa  |
| <b>Masa</b>    | Masa en Kilogramos  |
| <b>MQ</b>      | Mejor índice de calidad   |
| <b>mTC</b>     | Menor tiempo de contacto en ms  |
| <b>n</b>       | Número de unidades de investigación   |
| <b>NSCA</b>    | National Strenght Conditioning Association  |
| <b>PAQC</b>    | Cuestionario de actividad física para niños mayores                                       |
| <b>PCMJ</b>    | Potencia del salto CMJ en vatios  |
| <b>PCMJDE</b>  | Potencia en vatios del CMJ por distancia de empuje  |
| <b>PCMJDER</b> | Potencia en vatios del CMJ por distancia de empuje relativa al peso corporal              |
| <b>PCMJR</b>   | Potencia del salto CMJ en vatios relativa a la masa corporal                              |
| <b>PFK</b>     | Fosfofructokinasa   |
| <b>PG</b>      | % de grasa  |
| <b>PGRF</b>    | Porcentaje de grasa del recto femoral medido por ecografía                                |
| <b>PGVI</b>    | Porcentaje de grasa del vasto intermedio medido por ecografía                             |
| <b>PGVIE</b>   | Porcentaje de grasa del vasto intermedio medido por ecografía en región externa del muslo |
| <b>PGVL</b>    | Porcentaje de grasa del vasto lateral medido por ecografía                                |
| <b>PmA</b>     | Promedio de altura en centímetros   |
| <b>PmQ</b>     | Promedio del índice de calidad (Tv/TC)  |
| <b>PMRJ</b>    | Potencia media en vatios de saltos repetidos en 15 segundos                               |
| <b>PmTC</b>    | Promedio de tiempo de contacto en milisegundos(ms)  |
| <b>PmTV</b>    | Promedio de tiempo de vuelo en milisegundos(ms)   |
| <b>PmV</b>     | Promedio de velocidad de despegue en ms   |
| <b>PP15</b>    | Potencia pico del mejor salto en 15 segundos  |
| <b>PP15R</b>   | Potencia pico en vatios del mejor salto en 15 segundos relativo al peso corporal          |
| <b>PR</b>      | Porcentaje de rendimiento   |
| <b>P-RMS</b>   | Espectroscopía con resonancia magnética nuclear con fósforo                               |
| <b>PSE</b>     | Pliegue graso subescapular en milímetros  |
| <b>PT</b>      | Pliegue graso tricipital en milímetros  |

|               |   |
|---------------|---|
| <b>REE</b>    | Relación espesor total/estatura en centímetros  |
| <b>REGET</b>  | Relación espesor graso / espesor total del cuádriceps                                   |
| <b>RETM</b>   | Relación espesor total músculo cuádriceps medidos por ecografía y masa corporal (cm/Kg) |
| <b>REVLRF</b> | Relación espesor del vasto lateral y espesor del recto femoral                          |
| <b>RFE</b>    | Resistencia a la fuerza explosiva   |
| <b>RJ15</b>   | Saltos repetidos por 15 segundos  |
| <b>US</b>     | Ultrasonido   |

## 1. Introducción

A lo largo del doctorado, la temporalización de las actividades realizadas se dividió en tres períodos de trabajo. Un primer período en el que se hizo una revisión de la literatura científica para contextualizar el marco del problema. Para ello, las palabras clave utilizadas fueron: ultrasonido muscular, calidad muscular, espesor muscular, niños, potencia anaeróbica.

Una vez establecido el marco de referencia, en un segundo período, se realizó un estudio piloto para verificar la viabilidad del estudio, y la adecuación de los instrumentos. En la prueba piloto se pudo lograr los objetivos propuestos y observar el comportamiento de las diferentes variables, al igual que aplicar correlaciones entre ellas con los resultados posteriormente descritos. Esta prueba piloto se publicó como artículo original en la revista Andaluza de Medicina del Deporte (Giraldo-García & Hernández-Hernández, 2020).

Continuando con la revisión bibliográfica y basada en ésta, se anexó a la evaluación ecográfica imágenes del vasto lateral debido a que en la última literatura revisada es la porción del cuádriceps femoral que mayor relación tiene con el salto vertical. Además, se añadió la medida del ángulo de pennación en la imagen ecográfica el cual es de fácil medición y el espesor solo fue medido en el corte transversal por tener menor coeficiente de variación. En el tercer período, entre septiembre del 2018 y marzo de 2019, se realizó la evaluación de 190 niños entre 7 y 10 años en la escuela de iniciación deportiva de la institución Universitaria Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (la misma población en la que se realizó la prueba piloto), y dos instituciones de educación de la ciudad, una escuela pública y otra privada. Al hacer la segunda evaluación 42 menores de la prueba piloto participaron de esta nueva muestra. Para profundizar en el conocimiento de esta prueba, se decide comparar las medidas hechas el año anterior con las añadidas para ver sus diferencias. Los resultados de esta investigación se presentaron como una comunicación en el **Congreso de Salud**

y **Ciclo Vital** en la ciudad de Almería entre el 15 y el 17 de mayo de 2019. Además, fueron enviados para publicación dos artículos: el primero “**correlación entre eco-intensidad muscular y salto vertical en escolares**” el cual fue aceptado y está pendiente de publicación en la **Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte**. El segundo “**Study on the differences in quantitative ultrasound of the quadriceps between schoolchildren who practice different sports**” se encuentra actualmente en revisión en la revista **Archivos de Medicina del Deporte**. Esta última fase concluye con la obtención de los resultados, el análisis y la escritura de la tesis doctoral.

## **2. Fundamentación teórica**

### **2.1 Efectos del ejercicio físico en niños**

El ejercicio físico es una herramienta fundamental para el normal desarrollo del menor. La edad escolar brinda la posibilidad de generar hábitos de estilo de vida saludable que permanecerán en ellos en la edad adulta. Un escolar físicamente activo será un adulto que tendrá el ejercicio como parte de su estilo de vida. El ejercicio físico se ha convertido en un pilar fundamental en la prevención y el manejo de múltiples alteraciones que surgen de la evolución de la forma de vida, donde las diversas actividades requieren cada vez menos gasto calórico. La condición física es el principal marcador del estado de salud a cualquier edad (Ortega et al., 2007), y en las últimas décadas, existe una disminución de ésta en los niños. De hecho, se plantea una disminución desde la década de los 70 de 0.36% por año de la fuerza y la capacidad cardio-respiratoria.

El ejercicio físico presenta numerosos beneficios en los niños, entre los que está el psicológico, el control de peso, menores cifras de presión arterial y, de suma importancia, mantener los niveles de actividad física adquiridos en la edad adulta (Sedentarismo, 2005). Son diversas las razones que justifican que el niño deba ser activo físicamente. Con ello se consigue múltiples beneficios para la salud como la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares (Andersen et al., 2006) e hipertensión (Sarzynski et al., 2010), baja incidencia de diabetes mellitus (Gaya et al., 2009), incremento en la densidad mineral ósea (Hind & Burrows, 2007), profilaxis de alteraciones del sistema musculo-esquelético (Prentice et al., 2006), bienestar psicológico, y mayor rendimiento académico (Sallis, Prochaska, & Taylor, 2000). Múltiples estudios demuestran asociación positiva entre la actividad física auto-reportada y diferentes pruebas de condición física, entre los que destaca el realizado en Bogotá por Tovar et al. (2008), en multi-etapas, en niños entre

7 y 18 años (Tovar, Gutierrez, Ibañez, & Lobelo, 2008). Igualmente, existe una asociación negativa entre la actividad física y el nivel de grasa.

Otros estudios demuestran beneficios de la actividad física en la densidad mineral ósea en niños prepúberes (Strong et al., 2005). El ejercicio no tiene, al parecer, una incidencia significativa en el crecimiento en longitud de los huesos, pero si tiene una gran influencia en su densidad, es decir, en la cantidad de calcio incorporado al hueso, lo que le brinda mayor resistencia mecánica (Chicharro & Vaquero, 2007).

Otro de los factores que presentan una asociación positiva es el desempeño académico, actividad física y condición física (Carlson et al., 2008). Particularmente, existe una influencia positiva entre la actividad física en la concentración y la memoria (Strong et al., 2005). El ejercicio participa en aspectos de la función mental del niño mejorando el desarrollo cognitivo y social (Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008).

A continuación, se amplía algunos de los efectos que se producen en la edad escolar, poniendo un énfasis especial, en aquellas que afectan al desarrollo muscular, por ser el área de trabajo en la que se centra este estudio.

### **2.1.1 Efectos del ejercicio físico sobre la condición física**

Existen estudios que demuestran una mejor adaptación en la potencia aeróbica máxima en niños pre-púberes cuando se les aplica entrenamiento aeróbico intensivo, comparado con controles de la misma madurez biológica (Baquet et al., 2002; Santos, Marinho, Costa, Izquierdo, & Marques, 2012), a pesar de que las adaptaciones en el metabolismo aeróbico aun no estén muy claras (Marta, Marinho, & Marques, 2012).



Algunos estudios demuestran mejoras en el consumo máximo de oxígeno, mayor en hombres que en mujeres, explicado por los cambios en el diámetro del ventrículo izquierdo al final de la diástole, y una mejora de la función diastólica de un 15% comparado con un 11% (Obert et al., 2003). Otros encuentran mejoría en ambos sexos con diferencias no significativas estadísticamente entre los dos géneros (Marta et al., 2012).

Cepero et al. (2011) observaron que la actividad física en la escuela no es suficiente para tener el ideal de condición física relacionado con la salud (Marta et al., 2012). Dado el tiempo que pasa el niño en la escuela, que corresponde a la mitad del tiempo de vigilia, es decir despierto, es fundamental la intervención de ésta en el desarrollo de hábitos saludables, específicamente en la actividad física (Devís & Garde, 2002). Existe una necesidad de aumentar las horas de educación física para conseguir beneficios derivados de su realización. Esto supondría, generar en el niño, actitudes y hábitos de vida saludables que se puedan llevar a la edad adulta (Devís & Garde, 2002). Es fundamental reducir el tiempo de actividades sedentarias diarias, no escolares, a menos de dos horas, haciendo inversión en actividad física (Duhagon et al., 2005; Strong et al., 2005). Se debe intervenir, no solo en la participación en las clases de educación física, sino en la integración de ésta con el deporte. Es importante que los estudiantes identifiquen sus progresos, y los dirijan a aquellas actividades en las que se sientan más competentes, pero primordialmente de la que más disfruten (Devís & Garde, 2002). Es importante considerar el hábito del ejercicio en el niño como un excelente regalo para toda su vida, por los múltiples beneficios que tiene para la salud en la adultez (Devís & Garde, 2002).

Para la asociación británica de ciencias del deporte y el ejercicio, los niños y niñas entre 5 y 16 años deben realizar al menos 60 minutos diarios de ejercicio, de moderada intensidad, incluyendo actividades de alta intensidad que mejoren la densidad mineral ósea y la fuerza

(O'Donovan et al., 2010). Para que un estímulo de ejercicio sea suficiente para mejorar el consumo de oxígeno máximo se requieren 3 estímulos semanales, con al menos seis meses de continuidad, y superior al 70% de intensidad (Lemura, von Dullivard, Carlonas, & Andreacci, 1999). Se habla de una media de frecuencia cardíaca de 166 ppm (Lemura et al., 1999). El incremento en el consumo máximo de oxígeno es en promedio de 6% (Lemura et al., 1999). Otros autores son más exigentes y sus recomendaciones para lograr mejorar la condición física, y aprovechar así los múltiples beneficios que el ejercicio brinda en los niños en edad escolar, son realizar mínimo 60 minutos de actividad física de intensidad moderada o vigorosa al menos 5 días a la semana, e idealmente todos los días. Para lograr efectos en los niveles de lípidos sanguíneos, específicamente lipoproteínas de alta densidad (HDL) y Triglicéridos, se requiere un mínimo de actividad física moderada a vigorosa, de 40 minutos al día, 5 días a la semana, durante 4 meses continuos (Strong et al., 2005).

La mayoría de los estudios tienen como medición de la condición física el consumo de oxígeno pico ( $VO_2$  pico), el cual depende principalmente del componente pulmonar, cardiovascular y muscular. El  $VO_2$  pico es la mejor forma de evaluar potencia aeróbica, porque evalúa todo un proceso complejo desde la absorción del oxígeno por el pulmón, su transporte y distribución por el sistema circulatorio, y su utilización por el músculo que, en el caso del ejercicio, termina siendo su objetivo principal. Las modificaciones generadas por el entrenamiento son evaluadas principalmente por mediciones de parámetros cardiovasculares: espesor del miocardio, volúmenes sistólicos, volúmenes diastólicos, diferencia entre los gases inspirados y espirados entre otros. Esta diferencia entre gases inspirados y espirados es una medición práctica de la diferencia arterio-venosa de oxígeno,

la cual depende, durante la realización de ejercicio físico del transporte del oxígeno y, de manera importante, del consumo de los músculos utilizados en él. Es decir, la evaluación del músculo en su estructura y función puede ser una buena forma de valorar uno de los componentes fundamentales del VO<sub>2</sub> pico, quizás el más importante en un individuo sano al realizar ejercicio. Si bien el VO<sub>2</sub> máximo es una excelente medida de la condición física y, relacionada con ella, de la salud, existen estudios que consideran la fuerza muscular como un mejor predictor de salud y de mortalidad (Ortega, Silventoinen, Tynelius, & Rasmussen, 2012). La medición de la fuerza puede evaluar no solo la condición de un grupo muscular específico, sino que además evalúa todos los componentes fisiológicos que participan en la contracción muscular. También se evalúa desde el punto de vista estructural, con medidas tomadas por ecocardiografía, el espesor del miocardio y los diámetros de las cavidades del corazón. De ese mismo modo, el espesor muscular y otros parámetros medibles por ecografía musculo-esquelética podrían brindar información del nivel funcional de ese músculo. Siguiendo esta línea, vamos a centrar esta revisión en el músculo del niño, sus características, modificaciones y formas de evaluar su función.

Desde la década de los 70 y hasta los 90, los estudios para conocer el desarrollo del tejido muscular esquelético en niños se hicieron primordialmente con biopsia. Estas pruebas frecuentemente se realizaron en menores a quienes se les practicaron cirugías por diversas patologías, obteniéndose una muestra de diferentes músculos. De este modo, se ha construido el conocimiento sobre las características del desarrollo de los músculos de las extremidades durante la etapa de la niñez, y en concreto, del músculo cuádriceps (Eriksson, 1980; Eriksson, Karlsson, & Saltin, 1971). De los elementos que se conocen, está la diferencia respecto al metabolismo glucogénico (Eriksson & Saltin, 1974). Los depósitos de glucógeno se van aumentando con la edad al igual que la concentración de lactato muscular a una carga relativa de trabajo (Eriksson,

1980). Estos resultados han sido confirmados por estudios recientes, con un método que reemplazó la biopsia por no ser invasivo, la espectroscopía con resonancia magnética nuclear con fosforo (P-RMS) -que permite estudiar el metabolismo energético muscular- en lo referente a los depósitos de glucógeno y la actividad de las enzimas glucolíticas. Pero, con respecto al lactato, su umbral expresado como un porcentaje del consumo pico de oxígeno, es inversamente proporcional a la edad (Armstrong, Barker, & McManus, 2015). Además, cabe mencionar que la concentración de lactato es un predictor débil de la actividad glucolítica, y lo que realmente mide es su tasa de producción y remoción (Petersen, Gaul, Stanton, & Hanstock, 1999). Al mismo tiempo, el tamaño de las fibras musculares aumenta desde el nacimiento más o menos 20 veces, por lo tanto los cambios en el tamaño del músculo son primordialmente debidos a procesos de hipertrofia (Nicolaus, & Ostrowski, 2004). Relacionado con lo previamente expuesto, en la niñez existe un predominio de fibras tipo I y IIc (Van Praagh & Doré, 2002). El porcentaje de fibras tipo I disminuye desde los 10 hasta los 19 años, mientras el glucógeno muscular aumenta un 60% entre los 11 y los 18 años. En este sentido, las actividades enzimáticas oxidativas disminuyen con la edad, 125% a los 11 años, mientras la actividad de las enzimas glucolíticas aumentan con ella, 33% a los 11 años (Armstrong et al., 2015). Dicho de otra manera, la relación de las enzimas glucolíticas con respecto a las oxidativas va aumentando con la edad, al verse como la relación sanguínea lactato/piruvato aumenta entre los 7 y los 17 años (Pianosi, Seargeant, & Haworth, 1995). Con la P-RMS, el pH medido a través del cambio químico en el espectro del fósforo representa el resultado de la glucólisis. Un estudio realizado en niñas prepúberes ( $10.4 \pm 0.5$ ) y púberes ( $15.0 \pm 0.9$ ) no evidenció diferencias significativas en el descenso del pH entre ambos grupos al realizar un ejercicio

entre el 40% y el 140% de la intensidad máxima de trabajo (Petersen et al., 1999). En resumen, con el aumento de la edad, se incrementa el uso de los carbohidratos, y se disminuye el de las grasas como fuente de energía, es decir, los niños oxidan más grasas y menos carbohidratos que los adultos.

Por otro lado, los niveles de Fosfocreatina (PC) no cambian con la edad, es decir, ni la edad, ni el entrenamiento se relacionan con la PC muscular (Gariod et al., 1994). Por esto, los niños al jugar hacen fundamentalmente sprints repetidos. Pero, con respecto al metabolismo anaeróbico láctico, si bien lo usan poco, puede mejorarse su utilización a través del entrenamiento. Cuando se entrena con niños se encuentra un aumento de la actividad enzimática de la PFK a las 2, y a las 6 semanas. También se ha encontrado una relación directa del lactato con el volumen testicular (Eriksson, Karlsson, & Saltin, 1971). Sin embargo, no hay una relación entre el pico de lactato y el nivel de maduración sexual medido por el método de Tanner o la concentración de testosterona (Williams & Armstrong, 1991). Por tanto, en el músculo del niño las concentraciones de glucógeno son menores que las de un adulto. La concentración de glucógeno es menor, tanto hepática como muscular, al igual que la concentración y la actividad de la fosfofructokinasa (PFK) y la lactato deshidrogenasa (LDH), ambas enzimas de la glicólisis (Prado, Dias, & Trombetta, 2006). Es por esto que el glucógeno puede disminuir fácilmente, y una depleción glucogénica puede ser grave en un niño, de hecho, podría significar, el abandono del deporte. Prácticamente logramos concentraciones similares a las del adulto, en estos sustratos pasado los 15,5 años. Por el contrario, las enzimas oxidativas tanto en concentración como en actividad están aumentadas con respecto al adulto. Esto explica que los niños dependen menos del metabolismo glucogénico que el adulto. Además, en un ejercicio máximo los valores sanguíneos y musculares de ácido

láctico son menores en los niños, lo que justifica que sea una etapa ideal para el entrenamiento de la resistencia aeróbica.

Parece que desde los cinco hasta los veinte años de edad, hay un aumento en la proporción de las fibras tipo II, pasando de 35% al 50% (Chicharro & Vaquero, 2007). Se sugiere que son transformaciones de fibras tipo I a tipo II. Sin embargo, como veremos más adelante, algunos autores no comparten este concepto y consideran que los niños desde edades tempranas tienen definida su proporción de fibras a nivel muscular (Manno, 2008). En niños y niñas la concentración de lactato para definir el umbral anaeróbico está ubicado en 2,5 mmol/litro a diferencia de 4 mmol/litro en el adulto. Este último valor sobreestimaría el umbral en los niños. Este umbral anaeróbico mejora como respuesta al entrenamiento de resistencia, por esto parece ser el umbral anaeróbico un mejor método para valorar el entrenamiento que el VO<sub>2</sub> máximo (Chicharro & Vaquero, 2007).

### **2.1.2 Efecto del entrenamiento de fuerza en el niño**

El desarrollo de la fuerza muscular es un componente multidimensional del estado físico que está influenciado por una combinación de factores musculares, nerviosos y biomecánicos. Tanner reportó que el pico de crecimiento de la masa muscular en el niño ocurre una vez que la velocidad de la estatura se ha incrementado. Por esto, la estatura y el peso corporal pueden influir en la fuerza, tanto a nivel deportivo, como en actividades físicas simples. Por tanto, el incremento de ésta ocurre 1,5 años luego del pico de crecimiento. Este incremento porcentualmente es mayor en miembro inferiores que en superiores (Manno, 2008). Por los cambios continuos en el tamaño corporal, lo que modifica los diferentes segmentos corporales, la coordinación motora y, por la conciencia

de los cambios, la motivación psicológica puede disminuir durante la adolescencia. Según Malina (1973), la fuerza relativa al peso corporal permanece constante hasta los 16 años, y solo luego de esta edad se incrementa (Manno, 2008). En las niñas, este pico ocurre más temprano y es de menor duración que en los niños (Manno, 2008). La fuerza muscular tiene un crecimiento lineal hasta los 13-14 años donde presenta una aceleración en los niños. Esto lleva a presentar pocas diferencias hasta esta edad y, posteriormente, a presentarse diferencias considerables entre ambos sexos, porque en las niñas el crecimiento es lineal sin cambios bruscos importantes hasta que se estabiliza a los 16 años aproximadamente, mientras que en los niños se presenta la estabilización a los 18 años de edad (Manno, 2008). En la adolescencia la maduración del sistema nervioso continúa pero vienen a tener importancia los cambios en la estructura y la arquitectura del músculo, generado por las hormonas, incluyendo la testosterona, hormona del crecimiento y el factor de crecimiento semejante a la insulina (Lloyd et al., 2014).

En la fase prepuberal hay un incremento de la fuerza antes de los 11-12 años, independiente de la ganancia de peso, dada por aumento de la coordinación motora general y el desarrollo del sistema nervioso (Manno, 2008). Factores inherentes responsables de la ganancia de fuerza durante la niñez parecen estar relacionados con la maduración del sistema nervioso central como lo es el mejoramiento en el reclutamiento de unidades motoras, frecuencia de disparo, sincronización y mielinización neural (Lloyd et al., 2014). Los niños producen menos trabajo reactivo que lo que son capaces de producir en potencia y fuerza máxima (Manno, 2008). En un estudio comparando niños y adultos se encontró que los niños tienen menor rigidez muscular (stiffness) que los adultos (Grosset, Mora, Lambertz, & Pérot, 2007), lo que apoya que los niños tienen un sistema neuromuscular que no está completamente maduro (Kotzamanidis, 2006). Probablemente, esto se explica por una pobre coordinación en la cual una coactivación de los músculos antagonistas

disminuyen la fuerza muscular (Manno, 2008). Los niños tienen menor fuerza excéntrica que concéntrica, contrario a los adultos que tienen un 30% más de fuerza excéntrica con respecto a la concéntrica. Esto es explicado, al menos parcialmente, por un retardo en la eficiencia coordinativa de un sistema nervioso subdesarrollado que requiere controlar los procesos de crecimiento exacerbando la inhibición de los reflejos del órgano tendinosos de Golgi (Manno, 2008).

Los hombres prepúberes tienen mejor potencia medida por el salto vertical que las mujeres, esto se explica por mayor fuerza rápida o potencia durante la fase prepuberal. En fuerza isométrica las mujeres son levemente mejores que los hombres (Manno, 2008). Mientras a los 7-8 años un niño es eficiente desde el punto de vista motor, es decir es resistente y fuerte, a los 14 años se es más específico siendo más rápido pero menos resistente (Manno, 2008). La participación en deportes puede inducir alteraciones específicas en el control neuromuscular de los miembros inferiores, dependiendo de la naturaleza e intensidad del entrenamiento. El entrenamiento de la fuerza en niños puede inducir cambios en la activación neural, reflejados en un incremento de la fuerza. El desarrollo del sistema nervioso, específicamente en la ganancia de fuerza, está relacionada con la mielinización la cual progresa del cerebro a la periferia y que, al parecer, no se detiene aun en la edad adulta (Manno, 2008).

La niñez representa el período comprendido entre la infancia y la adolescencia, llegando generalmente a la edad de 11 y 13 años en niñas y niños, respectivamente (Lloyd et al., 2014). Sin embargo, es importante tener en cuenta que, debido a la altamente individualizada naturaleza del crecimiento y la maduración, los niños con una misma edad



cronológica variarán marcadamente en su estado biológico. Es decir, la edad cronológica es un débil indicador del estado de maduración (Lloyd et al., 2014).

Evidencias recientes demuestran que el nivel de fuerza de los niños en edad escolar está disminuyendo, por lo que el entrenamiento de la fuerza adquiere importancia relevante para revertir esta inadecuada tendencia (Lloyd et al., 2014). Agregado a esto, persiste la discusión de si el preadolescente es entrenable en fuerza, comparativamente como lo es el adolescente o el adulto. Mientras algunos autores han demostrado menor entrenabilidad (Atha, 1981; Vrijens, 1978) otros han demostrado iguales logros y, aún mayores, al compararlos con adolescentes y adultos (Manno, 2008). Weltman (1988) fue el primero en demostrar que el entrenamiento mejora la fuerza en niños pre-púberes. La niñez es un tiempo fundamental para optimizar la fuerza muscular (McKay et al., 2005).

La organización mundial de la salud considera ahora la actividad física como el cuarto factor de riesgo principal para la mortalidad global por enfermedades no transmisibles. La actividad física no solo es esencial para el adecuado crecimiento y desarrollo, los programas juveniles que aumenten las habilidades en el movimiento y la fuerza muscular construyen la base para un estilo de vida más activo en edades posteriores (Lloyd et al., 2014). La fuerza muscular es un componente fundamental en el desempeño de las habilidades motoras, por lo cual el entrenamiento de la fuerza durante los años de crecimiento puede tener implicaciones importantes a largo plazo para la salud, la condición física y el rendimiento deportivo (Lloyd et al., 2014). El entrenamiento de la fuerza en niños ha demostrado beneficios relacionados con la salud como aumento de la densidad mineral ósea, mejoría en la composición corporal, aumento de la sensibilidad a la insulina y en la salud mental al igual que protección a lesiones deportivas. Ganancias del 30%-50% en fuerza se han encontrado en períodos cortos de entrenamiento entre 8

y 12 semanas. Son los factores neurales la principal explicación de la ganancia de fuerza en los escolares. Aunque no existen muchos estudios, la ganancia de fuerza parece ser similar entre niños y niñas prepúberes (Marta et al., 2012).

Son múltiples las investigaciones que refutan los mitos relacionados con el entrenamiento de la fuerza con respecto a la detención del crecimiento, daño en los discos epifisiarios y no ganancia de fuerza por no estar la testosterona presente en estas edades (Behm, Faigenbaum, Falk, & Klentrou, 2008). Las diferentes asociaciones como la Asociación Americana de Pediatría, el Colegio Americano de Medicina Deportiva, entre otras, han recomendado el entrenamiento de la fuerza en prepúberes, porque ésta mejora sus niveles al igual que la resistencia muscular. Eso sí, basados en una estrecha supervisión por un instructor preparado, con una progresión gradual del entrenamiento, usando técnica apropiada y realizando un adecuado calentamiento al igual que una vuelta a la calma (Behm et al., 2008). Lógicamente, esta ganancia de fuerza no implica aumento de masa muscular. Estos incrementos en fuerza pueden variar entre el 13 al 30% con períodos de entrenamiento entre 8 y 20 semanas (Behm et al., 2008). La ganancia de fuerza se da por varios mecanismos neurológicos como el aprendizaje motor y la coordinación. La transformación del tipo de fibras, el reclutamiento de unidades motoras, la activación muscular y la co-contracción de antagonistas son mecanismos implicados en este aumento (Behm et al., 2008).

La posición de la NSCA (sigla en inglés de la National Strength and Conditioning Association) es que puede ser sano el entrenamiento de fuerza guiado en niños, puede incrementar la fuerza muscular, puede incrementar las capacidades, habilidades y el desempeño deportivo, ayuda a prevenir accidentes durante el deportes y las actividades

recreativas, aumenta el bienestar psicológico y puede aumentar la salud general (Manno, 2008). Puede mejorar la producción de potencia, la velocidad de carrera, velocidad de cambios de dirección y mejorar el desempeño motor general (Lloyd et al., 2014). Desde el punto de vista de la salud, el entrenamiento de fuerza ha demostrado evidencias en generar alteraciones positivas en la composición corporal en adolescentes con sobrepeso, y mejorar la función cardíaca en niños obesos (Lloyd et al., 2014). De hecho, la OMS (Organización Mundial de la Salud) incluyó el entrenamiento de fuerza como parte de su guía de actividad física para niños y adolescentes (Lloyd et al., 2014).

El entrenamiento de la fuerza es efectivo para el aumento en el rendimiento de habilidades motoras (saltar, correr, lanzar), habiendo hallado mayores ganancias en el rendimiento que los adolescentes (Behringer, Heede, Matthews, & Mester, 2011). La ganancia de fuerza máxima oscila entre el 10% y el 90% dependiendo de los diferentes factores tenidos en cuenta en el programa de entrenamiento (Lloyd et al., 2014). Los resultados del entrenamiento de la fuerza en prepúberes tienen un efecto mínimo relacionado con el sexo, el cual se hace mayor a edades posteriores (Lloyd et al., 2014). Como el desentrenamiento es bastante rápido en los prepúberes, es importante que se realice un plan de entrenamiento que garantice el mantenimiento de la fuerza (Lloyd et al., 2014).

Los modos más frecuentemente usados en el entrenamiento de fuerza son el peso corporal, máquinas de peso, pesos libres (mancuernas, pesas), bandas de resistencia elástica, balones medicinales entre otros. Estas deben ser apropiadas en tamaño y peso para los niños. Iniciar con ejercicios técnicos básicos con su propio peso y cuando tenga la técnica adecuada, pasar a realizar esos movimientos con pesos libres. Los movimientos multiarticulares son adecuados para adquirir la técnica correcta. Generalmente se debe iniciar con equipos modificados y pesos livianos (Lloyd et al., 2014). Otro medio de entrenamiento importante es el entrenamiento pliométrico, bastante

útil a estas edades porque persigue como objetivo la adaptación neuromuscular. Por estudios electromiográficos, en el entrenamiento pliométrico se ha demostrado un aumento del reclutamiento de fibras musculares y mayor coactivación (Acuña, Narváez, & Soler, 2013).

En el entrenamiento concurrente (entrenamiento de la fuerza y la resistencia aeróbica en una misma sesión) muy usado en clases de educación física, se presenta el fenómeno de interferencia que no permite ganancias significativas por reducción en el reclutamiento de unidades motoras, depleción de depósitos de glucógeno (particularmente bajos en estas edades) y mal balance entre el estímulo y la recuperación, que puede llevar a un sobre entrenamiento (Marta et al., 2012).

### ***2.1.2.1 Intensidad y volumen***

Para un niño no entrenado o sedentario, la realización de una prueba de fuerza para hallar 1RM es innecesaria. Es preferible iniciar con un rango de repeticiones que permita que el niño adquiera la técnica adecuada y, paulatinamente, con el logro del gesto técnico adecuado, ir incrementando la carga. El principal problema radica en manejar intensidades altas garantizando un levantamiento del peso técnicamente adecuado. Antes de pretender incrementar la carga se debe lograr el aprendizaje del gesto con intensidades bajas (Manno, 2008). Iniciar con volúmenes bajos (1-2 series) con intensidades de entrenamientos bajas o moderadas ( $\leq 60\%$  de 1RM). Con unas pocas repeticiones se va evaluando y corrigiendo la técnica para que el niño logre su aprendizaje. Cuando la técnica sea adecuada se podrá programar 4 a 6 series con intensidades del  $\leq 80\%$ . Cada ejercicio debe tener su evolución propia, de tal manera que el volumen varía para cada uno de ellos. No se debe pretender que el volumen sea igual para todos los ejercicios (Lloyd et al., 2014). Un estudio reciente

demostró que intensidades bajas que permitan realizar 13-15 repeticiones generan ganancias importantes de fuerza y resistencia más que intensidades mayores (6-8 repeticiones) en niños de 8-9 años (Manno, 2008). En este mismo sentido, una investigación realizada en niños entre 5.2 y 11.8 años de edad, demostró que el entrenamiento de fuerza de una serie con intensidades moderadas y altas repeticiones puede ser más benéfico que un programa de una serie con alta intensidad y bajas repeticiones en un programa introductorio (Faigenbaum, Westcott, Loud, & Long, 1999).

#### ***2.1.2.2 Recuperación***

Si bien múltiples investigaciones demuestran que los niños se recuperan con mayor rapidez que los adolescentes o los adultos, es importante un período adecuado de recuperación entre series. Generalmente un minuto es suficiente, aunque en ejercicios de exigencia técnica mayor o de alta intensidad puede ser necesario aumentar el período de recuperación a 2-3 minutos (Lloyd et al., 2014).

#### ***2.1.2.3 Frecuencia.***

La ganancia de fuerza está relacionada con la frecuencia de sesiones de entrenamiento por semana (Lloyd et al., 2014). Estudios experimentales demuestran ganancia de fuerza en niños preadolescentes con una frecuencia de 2 ó 3 veces por semana (Faigenbaum et al., 2002). En este grupo de edad, esta ganancia no está determinada por hipertrofia muscular (Strong et al., 2005). Sin embargo, la ganancia de fuerza está en relación con el aumento en la frecuencia de entrenamiento, particularmente cuando el objetivo es la competencia (Faigenbaum et al., 2002). En este caso, el monitoreo del entrenamiento debe ser estricto (Lloyd et al., 2014). Las clases de educación física en muchas escuelas es solo una vez por semana. La realización de un estímulo semanal de fuerza, específicamente en miembros inferiores brinda ganancias significativas de

fuerza, por lo que el entrenamiento de la fuerza debería ser incluido como parte de éstas clases (Faigenbaum et al., 2002). Sin embargo, aunque puede existir mejoría en la fuerza en miembros inferiores con una frecuencia de solo una vez por semana, la frecuencia mínima ideal es 2 veces (Faigenbaum et al., 2002).

#### ***2.1.2.4 Velocidad de ejecución***

La velocidad en la ejecución del movimiento está en relación con el nivel de entrenamiento. El niño que inicia su entrenamiento debe realizar el movimiento con una velocidad moderada porque en él debe primar el aprendizaje correcto del movimiento. Un niño con varios meses de entrenamiento podrá realizar el movimiento con mayor velocidad. La importancia de llevar al niño a manejar velocidades mayores tiene que ver con desarrollar patrones de reclutamiento de unidades motoras y frecuencias de disparo en el sistema neuromuscular (Lloyd et al., 2014).

#### **2.1.3 La potencia anaeróbica en el niño**

La mayoría de las actividades de la vida diaria de los niños y adolescentes involucran corta duración y alta intensidad, es decir, dependen de mecanismos de producción anaeróbica (Almuzaini, 2007; Gomez-Bruton et al., 2019). El metabolismo anaeróbico ha sido menos estudiado que el aeróbico particularmente en niños. Esta menor atención en las actividades anaeróbicas probablemente tiene relación con la consideración del metabolismo anaeróbico más de rendimiento mientras las aeróbicas han sido más relacionadas con la salud. La potencia anaeróbica es la producción anaeróbica máxima de ATP por segundo de todo el organismo, durante un ejercicio máximo específico de corta duración (Van Praagh & Doré, 2002). Dependiendo de la intensidad y la duración del esfuerzo, los diferentes sistemas energéticos serán predominantemente utilizados.

Observando el metabolismo anaeróbico, a alta intensidad, los primeros dos segundos primordialmente se utiliza el ATP depositado en el músculo y su rendimiento dependerá del área del área de sección transversa, de la fibra muscular, del tipo de fibra muscular y de la capacidad del sistema nervioso central para excitar las unidades motoras a una mayor rata. A los 5-6 segundos además de lo anterior se le suma la capacidad de utilizar la Fosfocreatina (CrP) depositada. A mayor duración se dependerá progresivamente de la capacidad de la fibra muscular para producir ATP a través de la vía glucolítica (Bencke et al., 2002).

Por no ser medida con adecuada precisión la utilización de sustratos es generalmente más apropiado medir este metabolismo en el campo de la energía mecánica. La potencia mecánica se refiere a la capacidad neuromuscular de producir el mayor impulso posible en un periodo de tiempo (Van Praagh & Doré, 2002). Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las actividades de la vida diaria de los niños y adolescentes involucran corta duración y alta intensidad, es decir, son de predominio anaeróbico (Almuzaini, 2007; Gomez-Bruton et al., 2019; Van Praagh & Doré, 2002). Y estas actividades en su mayoría, en niños de 6 a 10 años, tienen una duración media de 6 segundos a baja-media intensidad, y de 3 segundos de alta intensidad (Van Praagh & Doré, 2002).

La influencia de la maduración en el desarrollo del rendimiento anaeróbico ha sido discutida desde 1971 por Ericksson, Karlsson, y Saltin, quienes relacionaron testosterona, por volumen testicular, con la producción de lactato máximo, con una moderada correlación. Varios estudios han mostrado un desarrollo progresivo en el nivel de lactato máximo y la potencia anaeróbica durante la niñez no solo en el periodo puberal. Sin embargo, esa relación de la producción de testosterona con el desarrollo glucolítico no ha sido evidenciado en la concentración de lactato sanguíneo máximo con diferencia específica de género. Otro hallazgo importante es que la potencia anaeróbica mejora significativamente entre los 6 y los 12 años de edad cuando los

niveles de testosterona permanecen sin cambios (Armstrong, Welsman, & Kirby, 1997). Además, la potencia mejora con la edad entre los 7 y los 11 años sin diferencias entre sexo (Aouichaoui et al., 2012). Medido por resonancia magnética, el volumen del muslo medio es una variable explicativa adicional significativa para potencia media y pico en edades entre 10 y 12 años (Armstrong, Welsman, & Chia, 2001).

En un estudio realizado a través de resonancia magnética, y comparando el metabolismo anaeróbico de niños y adultos, se observaron que la diferenciación del tipo de fibra ocurre relativamente en edades tempranas, y a los 6 años de edad, el perfil histoquímico del musculo esquelético es similar al de un adulto joven (Zanconato, Buchthal, Barstow, & Cooper, 1993). Por las obvias limitaciones éticas en la investigación del desarrollo muscular en el niño, particularmente en lo que atañe a los tipos de fibra estudiados por biopsia, el conocimiento de la evolución a nivel muscular del niño es reducido. Sin embargo, varios autores han emitido algunos conceptos con respecto a la diferenciación de los tipos de fibra muscular. Moritani et al. (1989) han sugerido que, basado en la limitada información disponible en el desarrollo de las características de la fibra muscular (Colling-Saltin, 1980; Saltin & Gollnick, 1983), el patrón adulto de composición de la fibra muscular en el sóleo y el gemelo medial es establecido en una edad tan temprana como los 9 años (Kanehisa, Yata, Ikegawa, & Fukunaga, 1995). Es importante anotar que la composición del tipo de fibra del músculo es primordialmente determinada genéticamente (Komi et al., 1977) y puede ser en menor grado alterado por el entrenamiento (Booth & Thomason, 1991). La composición de las fibras musculares es sustancialmente similar en niños al compararlos con los adultos, por esto una probable explicación de la diferencia en potencia puede ser la hipertrofia selectiva de fibras tipo II



(Manno, 2008). El número de fibras que un individuo tendrá es el resultado de la miogénesis prenatal, por lo que el incremento en el área de sección transversa del músculo en el período posnatal es producto del aumento en el tamaño de las fibras, no en el aumento en el número (Lloyd et al., 2014).

La altura del salto se duplica entre los 5 y los 13 años similar en niños y niñas (Temfemo, Hugues, Chardon, Mandengue, & Ahmaidi, 2009). La capacidad para saltar mejora con la transición de la niñez a la madurez y depende de un número de factores, incluyendo la potencia muscular y la masa corporal que debe ser desplazada (O'Brien, Reeves, Baltzopoulos, Jones, & Maganaris, 2009). Se evidencian resultados contradictorios al evaluar las posibles diferencias en los saltos en niños y niñas. McKay concluyó que antes de la pubertad los niños tienen un mejor desempeño en el salto que las niñas y estas diferencias relacionadas con el sexo se incrementan al entrar a la adolescencia (McKay et al., 2005). De otro lado, varios autores no han encontrado diferencias de género en potencia pico de piernas antes de los 14 años de edad (Martin et al., 2004; Quatman, Ford, Myer, & Hewett, 2006). La diferencia en la capacidad de producción de potencia durante el salto entre niños, niñas, hombres y mujeres puede ser explicada mayormente en términos de diferencias en el volumen muscular del cuádriceps femoral (O'Brien et al., 2009). Los factores genéticos explican alrededor del 50% de la variación de la potencia anaeróbica (Van Praagh & Doré, 2002). Existe además discusión sobre el efecto del entrenamiento de la potencia anaeróbica en niños pre púberes. Algunos autores han encontrado en estas edades mejoras en la potencia glucolítica mientras otros no encontraron diferencias entre entrenados y no entrenados.

## **2.2 Medios de evaluación**

En algunos ámbitos existe la creencia de que la función anaeróbica está relacionada con el rendimiento deportivo, mientras la aeróbica con la salud. Por esta razón, la evaluación de la potencia anaeróbica no ha sido tan estudiada como la aeróbica en niños de edad escolar. Por razones éticas las investigaciones que utilizan el tejido muscular no se han realizado en niños, debido a que es un método invasivo y que requiere, en niños, el uso de anestesia con sedación. Su uso prácticamente se limita al diagnóstico de enfermedades musculares cuya precisión diagnóstica requiere el estudio del tejido muscular de manera directa. Es por esto por lo que, en niños, se usan pruebas estandarizadas de potencia muscular anaeróbica en cicloergómetro, en carreras de velocidad o con el salto vertical. En cicloergómetro la prueba más extensamente utilizada es la de Wingate (1974) la cual consiste en realizar la mayor velocidad de pedaleo por un período de 30 segundos con una carga previamente establecida. Se obtiene la potencia pico, generalmente en los primeros cinco segundos y la potencia media de los treinta segundos al sumar la potencia pico de cada subperíodo de 5 segundos y dividirlo por 6 (Armstrong et al., 2001, 1997). Las pruebas de velocidad de carrera utilizadas con mayor frecuencia son el test de Margaria (1966) que consiste en subir escalones de tres en tres midiendo el tiempo entre el tercer y el noveno escalón. Y el test de velocidad de hasta 30 metros (Acero, del Olmo, Doldan, Cepeda, & Guisado, 2001) en superficie plana y midiendo en ocasiones velocidades en distancias parciales de 10 y 20 metros. El salto vertical permite evaluar de una manera sencilla la fuerza explosiva con saltos desde una posición sostenida de semisentadilla y saltar o con un contra-movimiento para llegar a la misma posición y saltar incluyendo en este último el componente elástico. Son estos saltos los utilizados en este estudio por contar

con un tapete que permite realizar la medición del tiempo de vuelo, escogiendo en particular las pruebas de salto con contra-movimiento único y continuos.

### **2.2.1 Evaluación de la potencia del salto vertical**

Saltar representa un movimiento multi-articular complejo, del cual, la potencia mecánica externa producida como el empuje de los pies contra el suelo es frecuentemente usada como medida de la potencia producida por los extensores de rodilla (O'Brien et al., 2009). También es considerado como un indicador de condición física muscular por su asociación positiva entre la masa magra muscular, el contenido mineral óseo y el nivel de condición física (Ortega, Ruiz, Castillo, & Sjöström, 2008). El salto con contra movimiento (CMJ) y los saltos continuos (RJ) son saltos que requieren activación excéntrica moderada seguida de una activación concéntrica alta. En concreto, el salto con contra movimiento (CMJ) es la prueba más utilizada cuando se quieren establecer niveles de capacidad física muscular, ya que permiten obtener indicadores de porcentajes y potencia pico en miembros inferiores (Souza et al., 2020), además de presentar una alta confiabilidad intra-prueba (Gomez-Bruton et al., 2019). En niños se ha encontrado una alta correlación entre la altura del salto vertical y los datos obtenidos en la plataforma de fuerza (Van Praagh & Doré, 2002). Prueba de ello son algunos trabajos como los realizados por O'Brien et al. (2009), quienes hallaron una alta correlación entre la potencia del salto y el volumen muscular del cuádriceps femoral (O'Brien et al., 2009). Otro estudio, además, evidenció que las medidas antropométricas de volumen como la circunferencia del muslo se correlacionan positivamente con el salto vertical, y el salto largo en niños de 7 a 10 años de edad (Uzunović et al., 2015). Esto le da un valor práctico a la evaluación de la altura del salto a través de diferentes métodos y herramientas disponibles en nuestro ámbito. Parámetros del salto vertical y la potencia de las piernas son usadas por entrenadores y profesionales del deporte para distinguir sujetos de diferentes niveles de

rendimiento (Aouichaoui et al., 2012). O'Brien et al. encontraron una alta correlación en un movimiento multiarticular, con otros músculos implicados, entre la potencia del salto y el volumen muscular del cuádriceps femoral (O'Brien et al., 2009).

De este modo, el salto sería una forma apropiada de evaluar el metabolismo anaeróbico (Gomez-Bruton et al., 2019). Se han utilizado variedad de ellos, desde el Squat Jump (SJ), el Counter Movement Jump (CMJ) y el Drop Jump (DJ). En adultos el coeficiente de confiabilidad es alta, de 0,91 a 0,93 (Van Praagh & Doré, 2002). Los tres saltos han demostrado similar confiabilidad test-re-test en niños entre 6 y 12 años (Gomez-Bruton et al., 2019). Sin embargo, el CMJ mostró mejor confiabilidad intra-prueba y es el más comúnmente usado para predecir la potencia pico de miembros inferiores (Gomez-Bruton et al., 2019). Recientes estudios han probado la confiabilidad y validez del CMJ repetido para evaluar el rendimiento anaeróbico (De la Cruz-Campos et al., 2016). De hecho, se ha encontrado una relación positiva entre rendimiento de potencia anaeróbica y el % de fibras FT, % de área de fibras FT y relación área FT/área ST del cuádriceps humano (Bar-Or et al., 1980). No obstante, es importante tener en cuenta que la capacidad para producir fuerza dinámica de los músculos extensores de rodilla por área de sección transversa ha sido demostrada, y es menor en niños que en adultos jóvenes (Kanehisa et al. 1994, 1995).

Por lo tanto, el salto es una de las principales formas de evaluar el metabolismo anaeróbico, ya que se trata de un movimiento explosivo que requiere una utilización y generación de ATP de manera rápida. El CMJ difiere del SJ en la contracción excéntrica que precede a la contracción concéntrica, y esta diferencia se denomina índice de elasticidad. González y Gorostiaga (2002) definieron el índice de elasticidad como la

capacidad para utilizar durante una contracción concéntrica la energía almacenada durante la contracción excéntrica que la precede. En otras palabras, el CMJ requiere activación excéntrica moderada seguida por activación concéntrica alta. Este índice de elasticidad oscila entre el 6 y el 9%. Sin embargo el CMJ mostró mejor confiabilidad intra-prueba y es el más comúnmente usado para predecir la potencia pico de miembros inferiores (Gomez-Bruton et al., 2019). El CMJ es una prueba extensamente usada para medir el rendimiento tanto en detección, como en seguimiento de talentos, en control del entrenamiento e incluso en análisis del desarrollo. El CMJ es afectado por una serie de factores como el sexo, la edad y el nivel de entrenamiento. La mayoría de las investigaciones se han realizado en adultos con poca bibliografía aplicada a los niños, particularmente para evaluar su reproducibilidad. Un estudio realizado en Alemania, donde evaluaron 1835 niños y niñas entre 4 y 17 años de edad con el CMJ, concluyó que la fuerza pico parece no influir en el desempeño del salto directamente porque no cambió significativamente con el incremento en la edad, mientras la altura del salto si lo hizo (Focke et al., 2013). El CMJ es fiable en sujetos de 6-8 años, ya que presenta una reproducibilidad similar a los jugadores de voleibol a partir de los 15 años. Igual puede aplicarse para 1RJ (salto reactivo) (Acero et al., 2001). La variabilidad se hace menor en la pubertad donde los resultados son más estables.

Para estudiar la fisiología del músculo se usan diferentes estrategias. Una de ellas es cuantificar la proporción de fibras rápidas. En adultos, esta proporción se puede determinar mediante biopsia muscular (método invasivo), o a través de una resonancia magnética (alto costo). Existen métodos indirectos que evalúan el porcentaje de fibras rápidas a partir de la medición de la potencia anaeróbica. Esto es posible a través del test de Wingate, o por el salto vertical. El salto vertical, y en particular, con contra-movimiento (CMJ), ya se ha utilizado en niños escolares con una alta confiabilidad (Acero et al., 2001; Temfemo et al., 2009). Los saltos continuos en 15

segundos han sido utilizados para determinar el porcentaje de fibras rápidas al evaluar el desempeño anaeróbico durante los saltos (Temfemo et al., 2009).

De otro lado, los saltos CMJ continuos por 15 segundos han sido utilizados para determinar el porcentaje de fibras rápidas al evaluar el desempeño anaeróbico durante los saltos (Temfemo et al., 2009). Además, brindan la posibilidad de evaluar tanto los procesos neuromusculares como los metabólicos. En el caso de los saltos continuos con duración de 15 segundos el metabolismo principal evaluado es el anaeróbico aláctico y parcialmente el anaeróbico láctico (Carmelo Bosco & Riu, 1994). Los saltos continuos se correlacionan bien con el Test de Wingate, el de Margaria y el test de velocidad de 60 metros. Los grupos musculares más involucrados en la prueba de los saltos continuos en 15 segundos (RJ15) son, como en el CMJ, el cuádriceps femoral seguido por el glúteo mayor, extensores del tronco y de una manera irrelevante el tríceps sural (Carmelo Bosco & Riu, 1994).

## **2.2.2 Ultrasonido musculo-esquelético**

### ***2.2.2.1 Generalidades del ultrasonido***

Una onda de ultrasonido se produce cuando a través de una serie de cristales pasa una corriente eléctrica. Cuando regresan, las ondas de ultrasonido son convertidas nuevamente en corriente eléctrica. Esta corriente eléctrica es convertida en imágenes. Todo este proceso lo realiza el equipo de ultrasonido. Las ondas emitidas por el equipo penetran en el cuerpo, pero como tenemos diferentes tejidos, estos también presentan diferente resistencia al paso de estas ondas. De acuerdo con las características de los tejidos las ondas pasan a través de ellas, se devuelven o se dispersan. Lo importante es que las ondas que

regresan al equipo de ultrasonido son las que van a permitir la formación de las imágenes por parte de éste. El tiempo que se demoren esas ondas en regresar le permitirá al equipo definir a que profundidad está cada tejido. Cuando mayor es el tiempo de retorno, más profundo es el tejido (Whittaker & Stokes, 2011).

La unidad de la imagen formada es el píxel, y cuanto más brille éste, es mayor la fuerza de regreso de las ondas, mientras es más oscuro las ondas son débiles. Como son ciclos continuos, las imágenes formadas por pixeles se estarán formando continuamente. El brillo del píxel depende de la fuerza del regreso de la onda; cuanto más fuerte es el eco, más blanco, y cuanto más débil es el eco, más oscuro se verá. Este proceso se repite una y otra vez hasta que se crea una imagen sobre toda la pantalla. Un tejido genera más fuerza de regreso de la onda en la medida en que tenga más colágeno organizado en su estructura. Pero si tiene menos colágeno, como los fluidos, se verá más negro en la imagen (Ríos, 2010). En el caso del músculo las membranas gruesas como el epimisio se verán más blancas (hiper-ecoico) mientras los componentes más internos del músculo se verán más negros (Balius & Sala, 2007). El músculo es básicamente hipo-ecoico. Esto es lo que se ha denominado eco-intensidad (EI).

Existen dos principios que rigen el comportamiento de las ondas, específicamente su propagación, también aplicables al US. El primero es la penetración, que se refiere a la profundidad y, el segundo, es la atenuación que se refiere a la pérdida de energía de la onda en la medida que pasa a través de los tejidos (Whittaker et al., 2007).

La penetración depende de la intensidad que es la velocidad de energía por unidad de área y se expresa en vatios/cm<sup>2</sup> (mW/cm<sup>2</sup>), la frecuencia que se refiere al número de oscilaciones en un segundo y se expresa en hercios (Hz) y la velocidad a la que viaja la onda y que dependerá a su vez de la densidad de los tejidos que atraviese, con una velocidad promedio en los tejidos blandos

de 1540 m/s, levemente mayor en los músculos y menor en el hueso. La intensidad tiene una relación directa con la profundidad de penetración, mientras la frecuencia tiene una relación inversa (Walker & Cartwright, 2012).

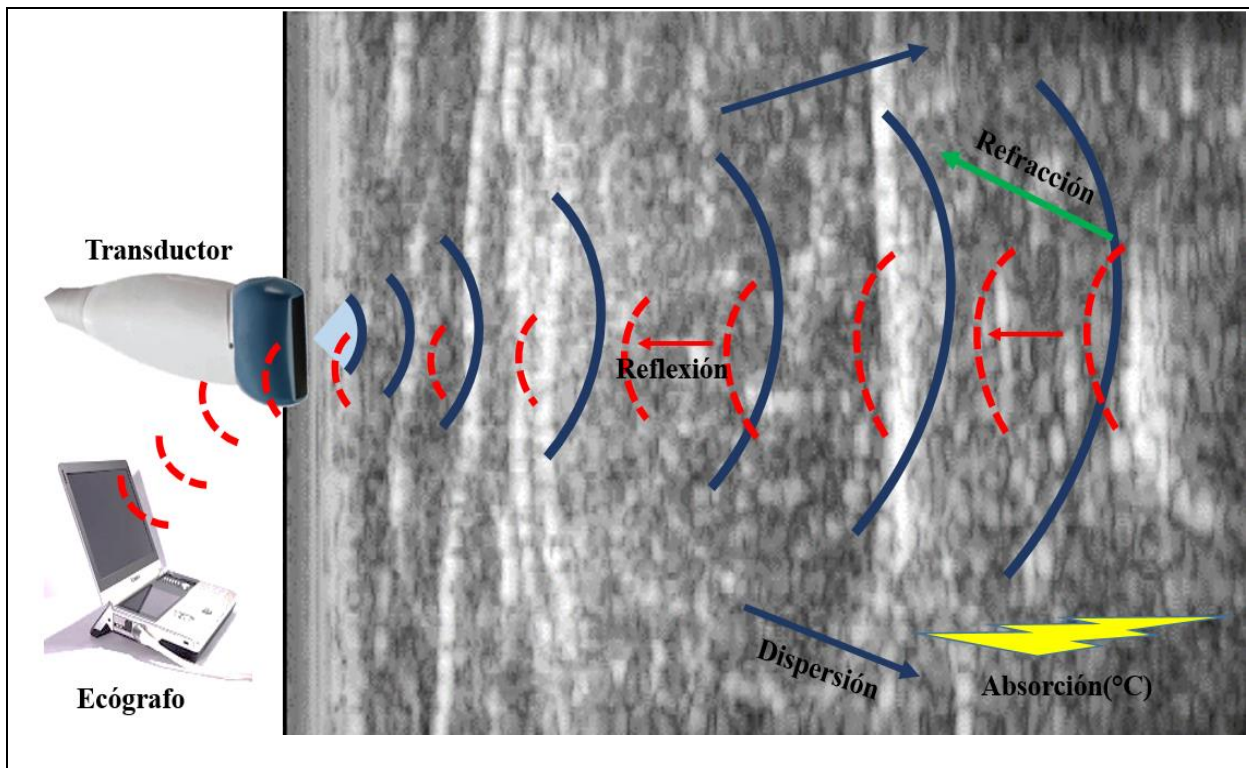
La atenuación es la disminución de la energía de la onda de sonido en la medida que avanza, que penetra. El paso de la onda por cada tejido que tiene una densidad distinta genera también un cambio en la velocidad y en la dirección. El paso de un tejido a otro se denomina interfaz. La atenuación se presenta por los mecanismos de absorción, reflexión, dispersión y refracción (Figura 1). En términos cuantitativos el primero es el más importante porque la mayor cantidad de energía se pierde por absorción generando calor (Barceló & Iriarte, 2015).

Al pasar por una interfaz una parte de la onda se regresa a su origen, se refleja. Es lo que se denomina reflexión y es esta la parte que permite la formación de la imagen por el equipo. El tamaño, es decir la intensidad de la reflexión depende del tamaño del tejido, de su rugosidad, del ángulo con el que incide la onda y la diferencia de resistencia de los dos tejidos de la interfaz. Más regularidad del tejido y mayor perpendicularidad de la onda genera mayor reflexión, es decir el tejido se ve más blanco. Si las estructuras de la interfaz son muy pequeñas, las ondas se dispersan. En caso de que un rayo no incida en ángulo recto la onda cambia de dirección lo que disminuye la formación de la imagen. Esta es la refracción.



**Figura 1.**

Fenómenos de la onda de ultrasonido al pasar por un tejido (en este caso muscular). Fuente: propia.



La atenuación es mayor a mayor frecuencia porque se genera mayor reflexión, pero se disminuye la penetración. Por esto las frecuencias altas (7.5-10.0 MHz) se utilizan en el estudio de estructuras más superficiales. Las estructuras profundas requieren frecuencias bajas (3.5-5.0 MHz).

Cuando es mayor la organización del tejido (ej. Colágeno) mejor es su reflexión, lo que permite formar una imagen más blanca (hiper-intensa). Estructuras que no tiene colágeno altamente organizado (ej. Fluido) no produce una reflexión lo que genera una imagen negra (hipoecoica o anecoica-hipointensa). El músculo es, por su alto contenido de sangre, hipo-ecoico (hipointenso) mientras las membranas que lo cubren, colágeno organizado son hiper-ecoicas (Whittaker & Stokes, 2011).

Basado en los principios del US la escala de grises que permite diferenciar los componentes de una imagen formada puede brindar por la EI información sobre la composición del tejido, es decir que tanto colágeno o fluido contiene. La otra información es sobre su arquitectura como el tamaño y la forma. Ejemplos de la primera puede ser el contenido de grasa del músculo y del segundo el espesor o el ángulo de pennación de los fascículos musculares.

Tanto en el ejercicio como en el deporte, es importante verificar de una manera objetiva los efectos de la actividad física en el sistema músculo esquelético. Existen grandes avances en el aspecto metabólico, pero en el aspecto de la hipertrofia muscular, en algunos contextos, se siguen haciendo cuantificaciones principalmente por medio de la antropometría. Las medidas más precisas como la resonancia magnética, la tomografía computarizada y la DEXA (absorciometría de rayos X de energía dual), la primera, por su alto costo, y las restantes, por su nivel de radiación iónica dejan de ser prácticas al momento de realizar mediciones periódicas en un seguimiento o en una investigación, particularmente en niños.

La ecografía músculo-esquelética (US) es una técnica de exploración que ha sido utilizada, principalmente, con fines diagnósticos. Algunas características como su inocuidad, portabilidad y el bajo coste la convierten en una importante herramienta de evaluación del músculo para aplicarla en la evaluación con niños. Si bien son múltiples los datos que podemos obtener con ésta, las dos medidas más utilizadas son el espesor y la eco-intensidad muscular (Cadore et al., 2012; Fukumoto et al., 2012; Jacobs et al., 2013; Melvin, Smith-Ryan, Wingfield, Fultz, & Roelofs, 2014; Wilhelm, Rech, Minozzo, Radaelli, & Botton, 2014). En primer lugar, el espesor muscular tiene una alta correlación

con el área de sección transversa del músculo (AST) (Dew & Moreau, 2012; Özdemir et al., 1995). En segundo lugar, la EI, que es la medición en una escala de grises de una imagen ecográfica (Caresio, Molinari, Emanuel, & Minetto, 2015), se ha relacionado positivamente en algunas investigaciones con el incremento del nivel adiposo (Jacobs et al., 2013).

La ecografía (US) es una herramienta de mucha utilidad primordialmente en el diagnóstico de lesiones deportivas de tejidos blandos. El US, por todas las razones prácticas que tiene su uso, se convierte en una herramienta útil para lograr el objetivo de cuantificar los cambios generados por el ejercicio en el sistema musculo esquelético, y en el músculo estriado esquelético en particular. Tras consultar trabajos de investigación sobre el uso de la ecografía en la medición de la hipertrofia muscular (Gentil, Soares, & Bottaro, 2015; Marcon et al., 2014; Menon et al., 2012), se puede observar una alternativa para cuantificar de una manera segura y confiable los cambios generados en el músculo, tanto en el ámbito del alto rendimiento, como en el ejercicio para la salud. El US también puede brindar información sobre la arquitectura muscular incluyendo ángulo de pennación (el ángulo en el que se colocan las fibras musculares) y la estructura de los fascículos. Las imágenes ecográficas pueden ser además analizadas a partir del color, específicamente la escala de grises. Es un medio muy útil en la evaluación del músculo por ecografía en personas de la tercera edad para definir su contenido graso y de fibras musculares. En otras palabras, es una forma de evaluar la calidad del músculo.

Por su inocuidad, la ecografía sería un excelente método de evaluación y seguimiento de la masa muscular tanto en cantidad como en calidad, y los cambios generados por entrenamiento, o por la simple evolución natural del individuo.

### ***2.2.2.2 Evaluación de la masa muscular***

La ecografía músculo-esquelética ha sido usada principalmente con fines diagnósticos (Reimers, 1993). Sin embargo, actualmente aparecen otros usos de ésta que nos permiten evaluar de una manera objetiva los cambios generados por el entrenamiento en el músculo. Un reciente meta análisis demostró evidencias de que el US es un método confiable para medir el área de sección transversa del músculo (AST), usando una vista panorámica con equipos que permitan esta función (Melvin, Smith-Ryan, Wingfield, Fultz, et al., 2014). Este tamaño muscular, medido como AST, ha sido reportado como altamente correlacionado con la función muscular (English et al., 2012). También existe la posibilidad de evaluar la masa muscular midiendo el espesor del músculo por ecografía. El US en modo B de tiempo real es un método útil y exitoso para evaluar el espesor muscular y del tejido celular subcutáneo (Cafawelli, 1995). El espesor muscular, determinado por la distancia entre dos fascias, o entre fascia y periostio, es fácilmente medible por este medio y este espesor tiene una alta correlación con el AST (Abe, Loenneke, & Thiebaud, 2015). Basado en consideraciones anatómicas, el espesor muscular medido por US del muslo anterior medio sería el mejor predictor para evaluar el tamaño del músculo cuádriceps (Abe et al., 2015). Una manera más precisa de medir el AST del músculo, en lugar del perímetro de una región anatómica, es la ecografía que mide el espesor muscular de una manera confiable. Este sistema tiene el inconveniente, y en particular en la edad escolar, de que no siempre los cambios funcionales del músculo van acompañados de un aumento del tamaño del mismo (Domínguez La Rosa & Espeso Gayte, 2003).

### ***2.2.2.3 Intensidad ecogénica (eco-intensidad)***

La eco-intensidad (EI) es la medición en una escala de grises de una imagen

ecográfica (Caresio et al., 2015). Inicialmente, esta medición era realizada mediante la observación del evaluador con una subjetividad que le restaba fiabilidad y sensibilidad al instrumento. Actualmente se realiza la evaluación de la EI a partir de una región de interés (Caresio et al., 2015). Un software lleva esta imagen a un análisis por histograma y define una EI en escala de grises de negro a blanco, que en valores numéricos es de 0 a 255. El tejido muscular magro tiene menor EI, mientras la grasa y el tejido conectivo tienen mayor EI. A mayor EI menor calidad muscular (Young, Jenkins, Zhao, & McCully, 2015). Los datos cuantitativos generados del análisis de escala de grises con ayuda del computador son más aplicables al ámbito de la investigación porque brindan información objetiva y son adecuados para análisis estadístico (Pillen S. 2006).

La EI fue asociada con varios parámetros de desempeño neuromuscular y cardiorrespiratorio en el adulto mayor. La EI medida en escala de grises con un software es un método seguro, de bajo costo y fácil acceso para evaluar la calidad muscular en adultos mayores (Cadore et al., 2012). Mientras la disminución del espesor muscular indica disminución de la masa muscular, el incremento de la EI del músculo indica incremento del nivel adiposo (Nishihara et al., 2014). Algunos autores han relacionado el incremento de la EI con el incremento del nivel adiposo y con el aumento del tejido fibroso. De hecho, información sobre la composición corporal puede ser reunida por cuantificación de la EI (Strasser, Draskovits, Praschak, Quittan, & Graf, 2013). El incremento de la infiltración grasa intramuscular ha sido relacionada con resistencia a la insulina y riesgo mayor de diabetes (Young, Southern, & McCully, 2016). Estudios previos han encontrado incremento de lípidos intramuscular en individuos diabéticos obesos y en atletas altamente entrenados (Addison, Marcus, Lastayo, & Ryan, 2014). En adultos, los estudios que utilizan la EI muestran diferencias explicadas por la existencia de patologías, pero también relacionadas con el entrenamiento. Incluso en niños se han encontrado diferencias con respecto al

género (Kanehisa et al., 1995). Además, la EI medida en ambas extremidades no diferencia entre dominante y no dominante, y la confiabilidad de la EI está en relación con el tamaño del área de interés (Caresio et al., 2015). Incluso, ecuaciones de predicción derivadas de US son un método válido para predecir la masa muscular esquelética y una alternativa para las medidas por RM (Sanada, Kearns, Midorikawa, & Abe, 2006).

Así pues, surge el concepto de calidad muscular medida por ecografía con la EI, la cual está relacionada con aspectos fisiológicos del tejido musculoesquelético evaluado. Menor EI expresa mejor calidad del músculo. En población adulta, los estudios que utilizan la EI muestran diferencias atribuidas a patologías, pero también relacionadas con el nivel de actividad física. En estos casos, la eco-intensidad disminuye con la práctica regular de ejercicio (Young et al., 2016). La disminución de la eco-intensidad en adultos se ha intentado explicar por una disminución del contenido graso, un aumento del contenido de carbohidratos, o ambos (Jenkins, 2016). También, en edad avanzada, se asocia la fibrosis como una posible causa del aumento de la eco-intensidad durante el envejecimiento (Caresio et al., 2015). En niños son pocos los estudios que evalúen la EI relacionada con pruebas de fuerza y potencia muscular, siendo más contradictorios los resultados (Mota, Stock, & Thompson, 2017). De hecho, en estas edades se han encontrado diferencias en la EI con respecto al género, las cuales no existen cuando se compara el tamaño del músculo por área de sección transversa, o por el espesor muscular (Kanehisa et al., 1995). Además, la EI medida en ambas extremidades no diferencia entre dominante y no dominante, y su confiabilidad está en relación con el tamaño del área de interés (Caresio et al., 2015). Por lo tanto, los resultados de los trabajos consultados parece indicar que la EI puede ser una herramienta más adecuada que el espesor, a la hora de evaluar el músculo, y el relacionarlo

con una medida de potencia anaeróbica como es el salto vertical, permitiría además valorar el porcentaje de fibras rápidas (Temfemo et al., 2009).

### **2.2.3 Evaluación de los cambios de la arquitectura del músculo por ecografía**

Las medidas más utilizadas para evaluar la arquitectura del músculo son el espesor muscular, el AST, área de sección trasversa fisiológica, ángulo de pennación y longitud del fascículo. Las medidas seriadas por US del músculo cuádriceps pueden detectar cambios en la masa muscular en respuesta al entrenamiento de fuerza en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). La técnica tiene buena reproducibilidad y puede ser más sensible a cambios en la masa muscular cuando se compara con DEXA (Menon et al., 2012).

EL AST cambia lentamente con el crecimiento en las fases tempranas de la pubertad comparado con el crecimiento longitudinal, mientras esto se invierte en las fases finales de la pubertad (Kanehisa et al., 1995). Una razón para la variabilidad Inter sujetos es la relación entre AST del músculo y la cantidad de trabajo constante puede ser las diferencias en el contenido de depósitos de energía, como una función de diferencias en la distribución de los tipos de fibra muscular (Miura et al., 2002). Se ha demostrado una fuerte relación entre el espesor muscular del vasto intermedio, la EI y medidas de fuerza y función muscular (Parry et al., 2015). La fuerza y la velocidad de un músculo, y por ende su potencia, se relacionan con la arquitectura muscular, siendo para algunos la más preponderante, además del tipo de fibras, tipo de moto-neurona entre otras.

En lo que respecta al músculo cuádriceps evaluado por ecografía, se ha encontrado que el vasto lateral corresponde al 21,3% del AST total del cuádriceps. Esto le da la posibilidad de generar un alto nivel de fuerza durante todas las fases del salto. El recto femoral representa el 24,2% del AST total del cuádriceps, y el vasto medial el 23,2%. El vasto intermedio tiene una estructura

similar al VL y al VM y representa el 30% del AST total del cuádriceps con una contribución similar en el salto al VM (Lara, 2008).

### ***2.2.3.1 Espesor muscular***

Los hombres tienen un mayor tamaño de la musculatura en casi todos los músculos al compararlos con el de las mujeres, a excepción del estudio de Abe et al. (2003), quienes no encontraron diferencias en estudiantes. Ese mayor tamaño muscular se mantiene a lo largo de los años sin incluir el nivel de actividad física. Por ecografía se puede medir el espesor muscular, el cual tiene una excelente correlación con el AST del músculo (Strasser et al., 2013). Este espesor corresponde a la distancia entre el epimisio externo e interno del músculo, o entre el epimisio externo y el periostio, según se evalúe un músculo o un grupo muscular. En el caso del cuádriceps, es posible medir el espesor del recto femoral y de los vastos individualmente, o también medir el espesor total del cuádriceps con la suma del recto femoral y el vasto intermedio, o el vasto externo y el vasto intermedio. Se considera como la medida más adecuada del espesor del cuádriceps la realizada en el punto que corresponde a la distancia media entre la espina iliaca antero-superior y el polo superior de la rótula, donde se obtendría la imagen del recto femoral y el vasto intermedio, y cuyo espesor correspondería a la distancia entre el epimisio del recto femoral y el periostio del fémur (Temfemo et al., 2009). Además, el espesor mejora su confiabilidad si su medida se realiza en imágenes de corte transversal (Santos & Armada-da-Silva, 2017). Por medición ecográfica se ha observado aumento del espesor muscular del bíceps braquial y del tibial anterior en estudio longitudinal durante cuatro años en niños, entre 0 y 12 años de edad, relacionado con el incremento de la masa corporal de 0.14 mm por kilogramo y de 0.33 mm de aumento por año de edad (Jacobs et al., 2013).



### ***2.2.3.2 Ángulo de penneación***

El ángulo de penneación es el ángulo formado por las fibras musculares al conectarse con el tendón en los músculos peniformes. El ángulo de penneación de la fibra muscular representa una estrategia natural para maximizar la cantidad de material contráctil a lo largo del tendón (Capodaglio, Minetti, Ferrari-Bardile, & Bertone, 1998). Un incremento en el ángulo de penneación demuestra un incremento en el área de sección transversa fisiológica del músculo lo que se traduce en un incremento de la fuerza muscular debido a que la mayoría de los músculos en humanos tienen un ángulo de penneación sustancialmente menor al óptimo que es de  $45^{\circ}$  (Behm et al., 2008). El ángulo de pennación es mayor en hombre que en mujeres. Según Kanehisa (2003), los valores del ángulo de pennación en jóvenes son para el vasto lateral entre 17,7 y 21,2 en hombres, y entre 15,8 y 18,8 en mujeres.

En deportistas el espesor muscular y el ángulo de pennación son mayores al compararlos con sedentarios, lo que explica en parte el rendimiento deportivo superior. También se ha observado diferencias en función de la naturaleza de la actividad deportiva, de tal manera que, se han observado mayores valores de espesor muscular y el ángulo de pennación en deportistas como levantadores de pesas al compararlos con futbolistas, velocistas y corredores de larga distancia. De la misma forma, deportistas de velocidad y fuerza explosiva presentan ángulos de pennación menores y longitud de fascículo grandes al compararlos con corredores de larga distancia (Lara, 2008). Estos valores podrían tener su importancia de cara a la detección de talentos y programación del entrenamiento, ya que puede ser considerado como un indicador de rendimiento y/o adaptación muscular en función de ese deporte.

### ***2.2.3.3 Evaluación de la calidad del músculo por EI***

Las investigaciones utilizando la ecografía muscular se han realizado con el fin de relacionar los diferentes datos que brinda su imagen con diferentes evaluaciones funcionales, principalmente en adultos. Así, algunos trabajos relacionan la EI del músculo cuádriceps con la fuerza máxima, la potencia y la capacidad funcional de hombres mayores (Wilhelm et al., 2014). Sin embargo, existen pocas investigaciones que examinen el músculo esquelético en niños sanos. Un estudio longitudinal, de 4 años de duración, evaluó dos medidas ecográficas y la fuerza muscular en niños. En sus conclusiones, los autores demostraron modificaciones clínicamente relevantes en la fuerza y en el espesor muscular influenciadas por cambios en el peso, la estatura y la edad. Esta misma influencia no fue significativa en la EI, la cual sufrió mínimas modificaciones en niños sanos (Lara, 2008). A diferencia del anterior, un estudio reciente demostró correlaciones significativas entre el espesor muscular y la EI del vasto lateral y el recto femoral con algunas medidas de desempeño atlético, y la fuerza isométrica en niños de 12 años (Stock, Mota, Hernandez, & Thompson, 2017). Estos resultados positivos, obtenidos en otros grupos de edad, han motivado la posibilidad de utilizar el espesor muscular y la EI, como indicadores de algunos parámetros de fuerza en escolares para, de este modo, tener una herramienta predictora de aspectos relacionados con la calidad del músculo que inciden en los niveles de potencia muscular, sin que sea invasiva, y que pueda ser aplicable a este grupo de población.

Los estudios en los cuales se utiliza la EI son en gran número realizados en población adulta, particularmente en tercera edad. Al comparar la EI con la medición del músculo por AST o por espesor muscular, se observa que la pérdida de tejido contráctil muscular con el envejecimiento es mayor que la disminución en el tamaño muscular

(Fukumoto et al., 2012). La EI del musculo cuádriceps está relacionada con la fuerza máxima, la potencia y la capacidad funcional de hombres mayores (Radaelli et al., 2013). Además, es importante considerar al músculo cuádriceps como un todo porque algunos componentes de éste, no se relacionaron con algunos parámetros evaluados. La mayor correlación fue encontrada entre la eco intensidad y la potencia pico del CMJ (Wilhelm et al., 2014).

Durante los primeros años de vida la fascia episimal es muy pequeña, de 100-150  $\mu\text{m}$ , que es la longitud de onda del haz ultrasónico. Por esto se dispersa. En la medida en que crece el músculo se empezará a visualizar ecográficamente la fascia. Además puede también causar una disminución de la EI cuando la fibra muscular aumenta su espesor disminuyendo la contribución del tejido fibroso aumentando el muscular (Jacobs et al., 2013), contrario a lo que sucede en el adulto.

#### ***2.2.3.4 La ecografía muscular en el niño***

Para evaluar la evolución del músculo esquelético en niños durante su crecimiento y desarrollo se han utilizado principalmente medidas tales como la fuerza muscular y la potencia muscular; las morfológicas como la antropometría, las medidas por imagen como la resonancia RM, la tomografía computarizada (TC) y la ecografía (US). Las medidas tomadas por US y por Absorciometría Dual de Rayos X (DEXA) pueden ofrecer información de referencia beneficiosa para seguimiento de adaptaciones al entrenamiento, regímenes nutricionales o de lesiones (Heredia, Tejada, Ventaja, & Orantes, 2015; Melvin, Smith-Ryan, Wingfield, Ryan, et al., 2014). Algunos estudios han demostrado como los efectos del entrenamiento de la fuerza en al área de sección transversa del músculo, y en la fuerza en pre púberes es similar en su dirección pero de diferente magnitud con respecto al adulto (Fukunaga & Funato, 1992). También se ha visto como los parámetros fuerza muscular, espesor muscular y eco-intensidad (EI) (estas dos últimas medidas

por US) son afectados por cambios en peso, estatura y edad en los menores. Esta influencia solo tiene cambios clínicamente relevantes en fuerza muscular y en espesor muscular, ya que sobre los cambios en la calidad del músculo medidos por la EI poco se sabe. En los pocos estudios que se han evaluado estos efectos, no se han evidenciado cambios significativos en niños sanos (Jacobs et al., 2013). La EI en adultos se incrementa con el paso de los años mientras que en niños no es dependiente de la edad. Es decir, en la niñez, durante el desarrollo normal de los músculos, la EI no cambia significativamente (Reimers, 1993; Scholten, Pillen, Verrips, & Zwarts, 2003) . De cualquier forma, existe poca información acerca de los efectos de la actividad física y el entrenamiento deportivo sobre la calidad muscular medido por US a través de la EI. Estudios basados en la evaluación de la fuerza revelan que la calidad muscular es similar entre los géneros durante la edad escolar, evidenciado por, no diferencias, cuando la fuerza es expresada relativa a la masa muscular o al AST muscular. Esta AST es un fuerte predictor de la fuerza en niños y niñas (Melvin, Smith-Ryan, Wingfield, Fultz, et al., 2014) y la medición del espesor muscular por US , que es fácil de realizar, tiene una excelente correlación con el AST del músculo (Akagi, Kanehisa, Kawakami, & Fukunaga, 2008). De hecho, entre los 5 y los 10 años niños y niñas acumulan masa magra a una velocidad similar. Sin embargo, factores medio ambientales, particularmente la intensidad y la duración de la actividad física, están relacionados con las pequeñas diferencias en el desempeño motor que surgen entre los géneros en estas edades (Keller, 2008).

### **3. Planteamiento del problema y objetivos**

Las ayudas diagnósticas son usadas en el área de la salud, principalmente, con el objetivo, de apoyar en el diagnóstico de una enfermedad o lesión. Dentro de estas ayudas, están las imagenológicas, las cuales a través de imágenes evalúan una parte del cuerpo humano o su totalidad. Los métodos de imagen diagnóstica se han utilizado también con el fin de evaluar aspectos fisiológicos en la actividad física y el deporte. La ecografía, la resonancia magnética y la tomografía axial computarizada son algunas de las más utilizadas con este fin. Específicamente en la evaluación del tejido muscular, la ecografía tiene ventajas y desventajas como método diagnóstico al compararla con la resonancia magnética o la tomografía axial computarizada. Quizás las ventajas más importantes son el bajo costo y la ausencia de radiación ionizante. Por estas razones y por ser además un método no invasivo, la ecografía sería un excelente método para evaluar el músculo de los niños en quienes por razones éticas no se pueden usar métodos cruentos como por ejemplo la biopsia muscular. Además, la ecografía musculo-esquelética permite cuantificar con precisión el espesor del músculo y la EI, que evalúa a partir de una imagen ecográfica, en escala de grises, la calidad del tejido muscular. Estos métodos cuantitativos han sido principalmente usados en la evaluación de la calidad muscular en adultos.

En general, existen dos mecanismos fisiológicos aceptados de adaptación que pueden ocurrir en respuesta a la ganancia de la fuerza: morfológicas y neurológicas. Estas adaptaciones tienen una contribución diferente en niños, adolescentes y adultos. La hipertrofia ha sido demostrada en adultos, con alguna evidencia en adolescentes y ninguna evidencia en niños, cuando se usan las medidas antropométricas. Cuando se aplicaron medidas como la resonancia magnética y la ecografía para evaluar la hipertrofia, se encontraron resultados que demuestran aumento de

tamaño del músculo en niños prepuberal (Behm et al., 2008). La mayoría de las actividades de la vida diaria de los niños y adolescentes involucran corta duración y alta intensidad, es decir, dependen de mecanismos de producción anaeróbica (Gomez-Bruton et al., 2019). Durante el desarrollo de algunas modalidades deportivas, constantemente se utilizan habilidades como Sprint cortos supra máximos y saltos que utilizan la potencia anaeróbica. La práctica específica de esos deportes podría influir de manera positiva en un mejor desempeño de las pruebas anaeróbicas. En un estudio realizado por Bencke (2002), en niños pre-púberes y púberes practicantes de varios deportes, los resultados indicaron alguna influencia del entrenamiento específico, especialmente en las respuestas motoras complejas como el salto, de tal forma que, podría ser un indicador del efecto del entrenamiento antes de la pubertad.

En países como Japón y Brasil se han realizado múltiples investigaciones con el uso de la ecografía como método de evaluación de la cantidad y calidad del músculo en diferentes zonas anatómicas del cuerpo. Éstas se han realizado, principalmente, en jóvenes, adultos y en tercera edad. Existen pocos estudios realizados en niños escolares, y los que se han publicado corresponden a estudios descriptivos en los cuales relacionan las características ecográficas con la edad y las medidas antropométricas. En Colombia, no existen investigaciones en los que se evalúe en niños escolares el tejido muscular ecográficamente con objetivos diferentes al diagnóstico de enfermedades.

Para conocer la fisiología del músculo se usa la proporción de fibras rápidas. En adultos esta proporción se puede determinar por la biopsia muscular (método invasivo) o por la resonancia magnética (alto costo). Existe un método indirecto de evaluación del porcentaje de fibras rápidas a partir de la evaluación del salto vertical. Éste se ha realizado

en niños escolares con una alta confiabilidad. Dado que las actividades de la vida diaria de los niños son en su mayoría de corta duración y alta intensidad, la evaluación de la potencia anaeróbica es de suma importancia para caracterización fisiológica del menor.

Por su inocuidad, la ecografía sería un excelente método de evaluación y seguimiento de la masa muscular y sus cambios generados por entrenamiento, o por la simple evolución natural del menor. Al realizar simultáneamente la ecografía del cuádriceps, responsable principal de la potencia del salto vertical, y la prueba de salto vertical para definir la proporción de fibras rápidas, se podría evaluar la relación que existe entre ellas. Si existe una relación, la información que en términos de proporción de fibras rápidas y lentas que nos brinda el salto vertical podría obtenerse a través de la ecografía musculo-esquelética, lo que permitiría usarla en múltiples aspectos de la actividad física y el deporte infantil, al igual que en la detección de talentos deportivos. De ahí que las hipótesis con la que trabajamos en este estudio son las siguientes:

- Las características ecográficas espesor muscular, eco-intensidad y ángulo de pennación del músculo cuádriceps están relacionadas con la potencia del salto vertical y la proporción de fibra rápidas en niños escolares de la ciudad de Medellín.
- Las características ecográficas espesor muscular, eco-intensidad y ángulo de pennación del músculo cuádriceps están relacionadas con la orientación del entrenamiento como factor que incide en la potencia anaeróbica en niños escolares de la ciudad de Medellín.

Teniendo en cuenta estas hipótesis, a continuación, se proponen para el desarrollo del trabajo, lo siguientes objetivos:

### **3.1 Objetivos generales:**

a) Analizar el espesor muscular, el ángulo de pennación y la eco-intensidad del músculo cuádriceps evaluada por ecografía en niños escolares del área urbana de la ciudad de Medellín.

b) Determinar las relaciones entre el espesor muscular, el ángulo de pennación y la eco-intensidad del músculo cuádriceps evaluada por ecografía con la orientación del entrenamiento, la potencia del salto vertical y la proporción de fibras rápidas en niños escolares del área urbana de la ciudad de Medellín.

### **3.2 Objetivos específicos:**

a) Evaluar el espesor muscular, el ángulo de pennación y la eco-intensidad del cuádriceps por ecografía en niños escolares.

b) Medir la potencia del salto vertical y la proporción de fibras rápidas en niños escolares.

c) Relacionar el espesor muscular del cuádriceps y el ángulo de pennación medidos por ecografía con la orientación del entrenamiento, la potencia del salto vertical y la proporción de fibras rápidas en niños en edad escolares.

d) Relacionar la eco-intensidad con la orientación del entrenamiento, la potencia del salto vertical y la proporción de fibras rápidas en niños en edad escolares.



## 4. Metodología

### 4.1 Muestra

El estudio se realizó en una muestra intencional de 184 niños escolares, 75 niñas (9.41±0.91) y 109 niños (8.97±1.14), pertenecientes a dos escuelas de iniciación deportiva, y una escuela de educación básica primaria de la ciudad de Medellín, Colombia (Tabla 1). Colombia es un país de Suramérica con una división político-administrativa de 32 departamentos. Medellín es la capital del departamento de Antioquia. Su área urbana está dividida en 16 comunas con 6 estratos socioeconómicos. Existen colegios públicos y privados, y esta diferencia tiene relación con el estrato socioeconómico. Los criterios de exclusión considerados fueron: la presencia de enfermedad cardiovascular o metabólica, lesiones músculo-esqueléticas o Estadio de maduración sexual definido por el método Tanner auto-reportado diferente a 1 (Mundy et al., 2013). Todos los niños y sus padres firmaron un asentimiento, y un consentimiento informado, respectivamente (ver anexos). El protocolo del estudio fue aprobado por el comité de ética de la Institución Universitaria Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

**Tabla 1.**

*Estadística descriptiva. Modalidades deportivas.*

|                               | Niños      |                |            | Niñas  |                |            |
|-------------------------------|------------|----------------|------------|--------|----------------|------------|
|                               | Fútbol     | Multideportiva | Ninguno    | Fútbol | Multideportiva | Ninguno    |
| <b>n</b>                      | 81         | 15             | 13         | 1      | 43             | 31         |
| <b>Edad (años)</b>            | 8.9±1.16   | 9.2±1.04       | 9.8±0.55   | 10.7   | 9.1±1.07       | 9.8±0.55   |
| <b>Estatura (cm)</b>          | 133.8±8.61 | 134.9±8.12     | 137.9±7.08 | 138    | 134.7±8.07     | 138.3±7.23 |
| <b>Masa (Kg)</b>              | 31.5±8.40  | 32.5±7.79      | 34.9±6.65  | 29.4   | 32.2±7.81      | 34.9±6.62  |
| <b>Grasa %</b>                | 16.23±7.07 | 17.23±6.63     | 18.81±5.95 | 10.07  | 17.06±6.70     | 18.64±5.89 |
| <b>IMC (Kg/m<sup>2</sup>)</b> | 17.4±3.19  | 17.7±2.96      | 18.3±2.90  | 15.44  | 17.6±3.05      | 18.2±2.85  |

## 4.2 Diseño

El estudio se realizó mediante un diseño de corte transversal. Previamente se realizó un estudio piloto para verificar la viabilidad del estudio y ajustar el protocolo diseñado.

Las variables de estudio fueron las siguientes:

a) Medidas a través de ecografía, valores de naturaleza cuantitativa, con un nivel de medida de razón y dados en milímetros; Para ello, tendrá en cuenta en la imagen ecográfica la distancia entre el epimisio superficial y profundo o entre el epimisio y el periostio del fémur. Estos valores son el:

- Espesor muscular transversal
- Espesor muscular longitudinal

b) Medidas a través de ecografía, valores de naturaleza cuantitativa, con un nivel de medida de razón y dados en grados.

- Ángulo de pennación del recto femoral y del vasto lateral.

c) Medidas a través de ecografía, valores cualitativos, en la imagen ecográfica en escala de grises mediante un software libre en una escala de 0 a 255 (de negro a blanco). Estos valores serán:

- Eco-intensidad transversal (sin y con corrección)
- Eco-intensidad longitudinal (sin y con corrección)
- Porcentaje de grasa muscular
- Diferencias de eco-intensidad entre la grasa y las diferentes

porciones del cuádriceps.

c) Medidas en una plataforma de contacto, de naturaleza cuantitativa, por el tiempo de vuelo, se calcula la altura del salto en centímetros (CMJ) y a partir de esta altura, se determina la potencia en vatios (W). El % de fibras FT se determina aplicando una fórmula que tiene en cuenta el tiempo de vuelo y el tiempo de contacto. Estos valores serán:

- Altura: CMJ (cms)
- Potencia CMJ: Cuantitativa. Razón Vatios(W)
- Potencia Media RJ: Cuantitativa. Razón Vatios(W)
- % fibras FT: Cuantitativa Razón %

Además, se obtuvo las siguientes variables de estudio:

- Sexo.
- Edad.
- Masa corporal en kilogramos.
- Estatura medida en cm.
- IMC medido en kilogramos/metros<sup>2</sup>
- Porcentaje de grasa.
- Relación entre el espesor muscular y la masa corporal.
- Práctica deportiva.
- Nivel de Actividad física (PAQ-C), estableciendo tres categorías propuestas por

Chen et al. (2014): baja actividad( $\leq 2$ ), moderada actividad( $>2$  y  $<3$ ) y alta actividad( $\geq 3$ ) basado en el resultado de la puntuación (Chen, Lee, Chiu, & Jeng, 2008; Voss, Ogunleye, & Sandercock, 2013).

- Estrato socioeconómico: en orden ascendente del 1 al 6. Según el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), entidad responsable de la planeación, levantamiento, procesamiento, análisis y difusión de las estadísticas oficiales de Colombia, “La clasificación en cualquiera de los seis estratos es una aproximación a la diferencia socioeconómica jerarquizada, léase pobreza a riqueza o viceversa. Como resultado de dicha clasificación en una misma ciudad se pueden encontrar viviendas tan disímiles como las que van desde el tugurio que expresa -sin lugar a dudas- la miseria de sus moradores, hasta la mansión o palacete que, en igual forma evidencia una enorme acumulación de riqueza” (DANE, 2018).

### **4.3 Instrumental**

#### **4.3.1 Ultrasonido cuantitativo**

Las imágenes del cuádriceps femoral en la extremidad derecha fueron obtenidas mediante un equipo de ultrasonido mode B (B-Ultrasonic Diagnostic System, Contec, CMS600P2, Republica de China). Un transductor lineal (ganancia: 58, frecuencia: 7,5 MHz; profundidad: 6 centímetros), cubierto con un gel transmisor soluble en agua en cantidad suficiente para evitar la compresión de la superficie dérmica, fue colocado perpendicular al eje longitudinal y transversal del cuádriceps femoral en el punto medio entre la espina ilíaca anterosuperior y el polo superior y entre ésta y el ángulo supero-externo de la rótula para las imágenes anterior y lateral, respectivamente. Los sujetos fueron evaluados en supino, estando al menos 5 minutos de reposo, y sin realización de ejercicio físico vigoroso previo ese día. Se realizaron dos imágenes en corte transversal y dos en corte longitudinal de cada punto medio. La imagen congelada fue digitalizada y

posteriormente analizada por el software libre ImageJ (National Institute of Health, USA, versión IJ 1.46). Para una mayor fiabilidad, solo se usaron cortes transversales (Santos & Armada-da-Silva, 2017) para el espesor y la EI. Las imágenes del corte transversal anterior fueron usadas para medir la EI del recto femoral y del vasto intermedio. Las imágenes del corte transversal lateral fueron usadas para medir la EI del vasto externo y del vasto intermedio en vista lateral. Las imágenes de corte longitudinal fueron utilizadas para determinar el ángulo de pennación del recto femoral y del vasto externo. La EI de los diferentes músculos evaluados se cuantificó usando la función de histograma en ImageJ. La región de interés fue seleccionada como la mayor área rectangular de cada músculo sin incluir fascia (Figuras 2 y 3). La media de las dos imágenes fue expresada como un valor entre 0 (negro) y 255 (blanco). Se realizó la corrección de la EI con el espesor del tejido celular subcutáneo propuesta por Young y se midió el porcentaje de grasa con el método propuesto por el mismo autor para todos los músculos (Young et al., 2015). Además, como estrategia de control, se realizó la diferencia de la EI de la grasa con respecto a cada porción del cuádriceps evaluado que corresponde a la Dif1C a Dif6C (Wu, Darras, & Rutkove, 2010). El coeficiente de variación de dos medidas en diferentes momentos, el mismo día, de diez sujetos fue del 0,4% para la EI, para el espesor del 5,0 % y para el ángulo de pennación el 0.8%.

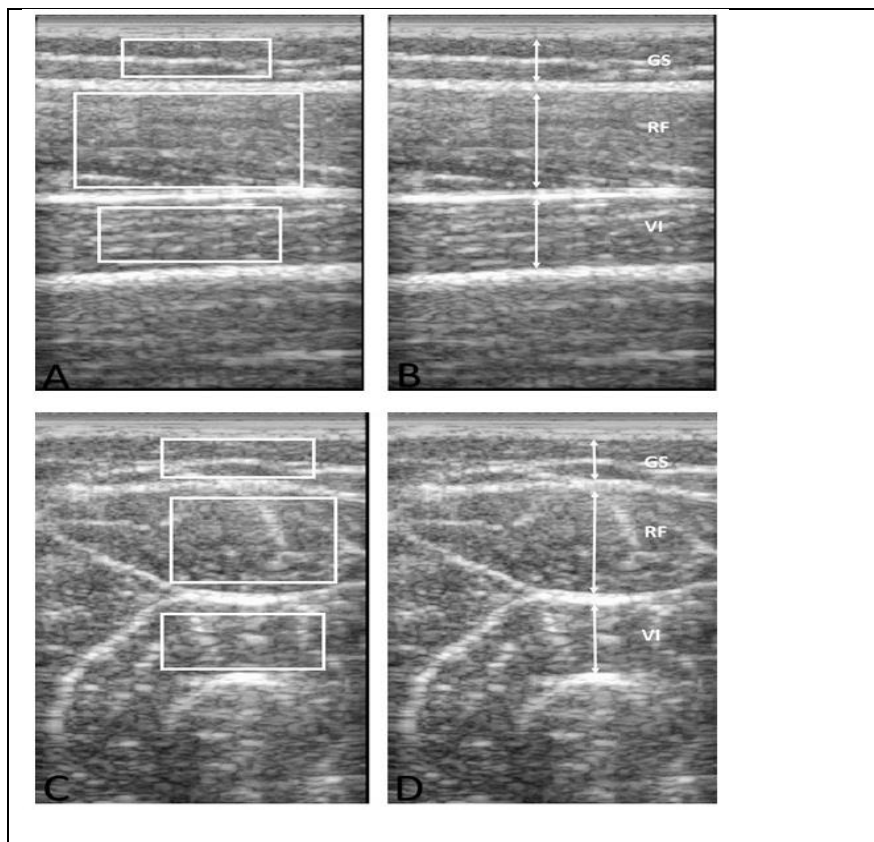
#### 4.3.2 Fuerza explosiva.

Los saltos fueron medidos en un tapete AXON JUMP® (Axon Bioingeniería Deportiva, Buenos Aires, Argentina) con el software Axon Jump 4.0, que midió el tiempo de vuelo y, además, en el caso del RJ15, el tiempo de contacto. En todos los saltos los niños debían mantener “las manos en la cintura”. El RJ15 se realizó para calcular la potencia promedio ( $PP = g \cdot 2 \cdot T_f \cdot 15 / 4n(15 - T_f)$ ) y el % de distribución de fibras FT ( $\%FT = 48.31 + (g \cdot 2 \cdot T_f \cdot 15) / 1.04n(15 - T_f)$

(Temfemo et al., 2009). La potencia del CMJ se obtuvo con la fórmula de Sayers  
 (Potencia CMJ(W)=(51.9\*alturaCMJ(cm))+(48.9\*masa corporal(Kg))-2007) (Sayers,  
 Harackiewicz, Harman, Frykman, & Rosenstein, 1999). La potencia del CMJ por  
 distancia de empuje se obtuvo con la fórmula propuesta por Jiménez-Reyes et. al. ( $P=$   
 $mg((h/h_{po2})+1) \sqrt{gh/2}$ ) (Jiménez-Reyes et al., 2017).

**Figura 2.**

*Imágenes ecográficas.*



GS: grasa subcutánea; RF: músculo recto femoral; VI: músculo vasto intermedio.

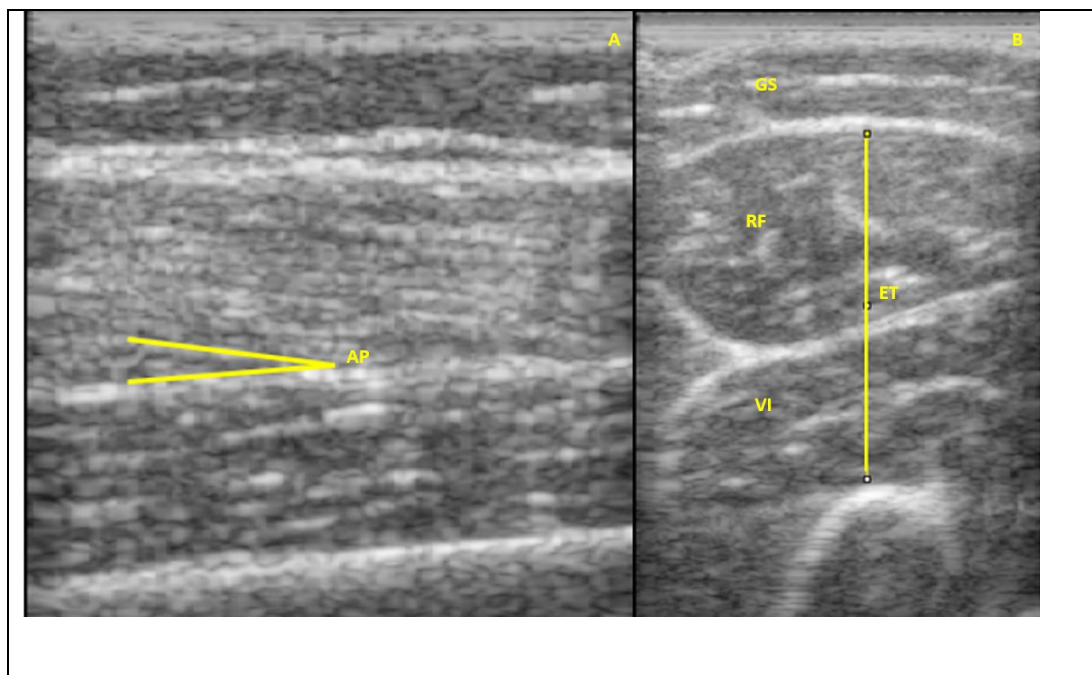
Imágenes: A y B: corte longitudinal. Eco-intensidad y espesor muscular, respectivamente.

Imágenes C y D: Corte transversal. Eco-intensidad y espesor muscular, respectivamente.

Fuente: Propia.

**Figura 3.**

*Imágenes ecográficas.*



GS: grasa subcutánea; RF: músculo recto femoral; VI: músculo vasto intermedio.

Imágenes: A: corte longitudinal. Ángulo de pennación (AP).

Imagen B: Corte transversal. Espesor total del cuádriceps (ET). Fuente: propia

### 4.3.3 Antropometría

La masa corporal y la estatura fueron medidas sin calzado y en ropa deportiva. El índice de masa corporal (IMC) se obtuvo con la fórmula  $\text{masa (Kgr)}/\text{estatura (m}^2\text{)}$ . El porcentaje de grasa corporal fue estimado de acuerdo con Lohman de los pliegues grasos medidos en dos sitios: tríceps y subescapular (Gómez et al., 2013).

## 4.4 Procedimiento

Se realizó un estudio transversal, comparativo y no aleatorio. Todos los participantes asistieron al laboratorio de la institución universitaria Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, o a un salón adecuado como laboratorio en las instalaciones del colegio San José de las

Vegas y de la escuela Lucrecio Jaramillo, todas instituciones educativas de la ciudad de Medellín, Colombia, entre octubre de 2018 y marzo de 2019. Previamente, tanto a niños como progenitores/tutores, se les informó de cómo interpretar la madurez sexual por el método de Tanner mediante imágenes. A continuación, los participantes auto-reportaron su madurez sexual (Mundy et al., 2013). Aquellos cuyo valor era distinto a 1, fueron excluidos del estudio. Posteriormente, los participantes cumplieron el cuestionario de actividad física PAQC (Voss et al., 2013)(Ver anexos). Por último, se realizaron las medidas antropométricas: masa corporal, estatura y porcentaje de grasa y se realizó la ecografía de cuádriceps derecho. De estas imágenes se obtuvo las medidas de espesor muscular y un área de interés en tamaño similar para todos los participantes, que nos permitió medir la EI del músculo.

A continuación, se evaluó la fuerza explosiva la cual fue medida mediante las pruebas de salto con contra-movimiento (CMJ), y saltos repetidos (RJ15). Al inicio de la sesión, todos los participantes realizaron un calentamiento dinámico general, finalizando con la realización de seis saltos, con un progresivo nivel de esfuerzo. Los niños realizaron el CMJ en tres ocasiones, y el mejor salto fue el usado para el análisis estadístico. Tras dos minutos de recuperación, realizaron el RJ15 que consistió en saltos CMJ consecutivos durante 15 segundos. A lo largo de la prueba, se estimuló verbalmente a los niños. Para asegurar la correcta ejecución de cada salto fueron evaluados a través de una “check list”, donde se comprobó si cada salto cumplía, o no, con los aspectos claves para una correcta ejecución. Si la ejecución era incorrecta se esperaba 3 minutos y nuevamente se realizaba. Aquellos saltos que no los cumplían fueron considerados como no válidos. Con la

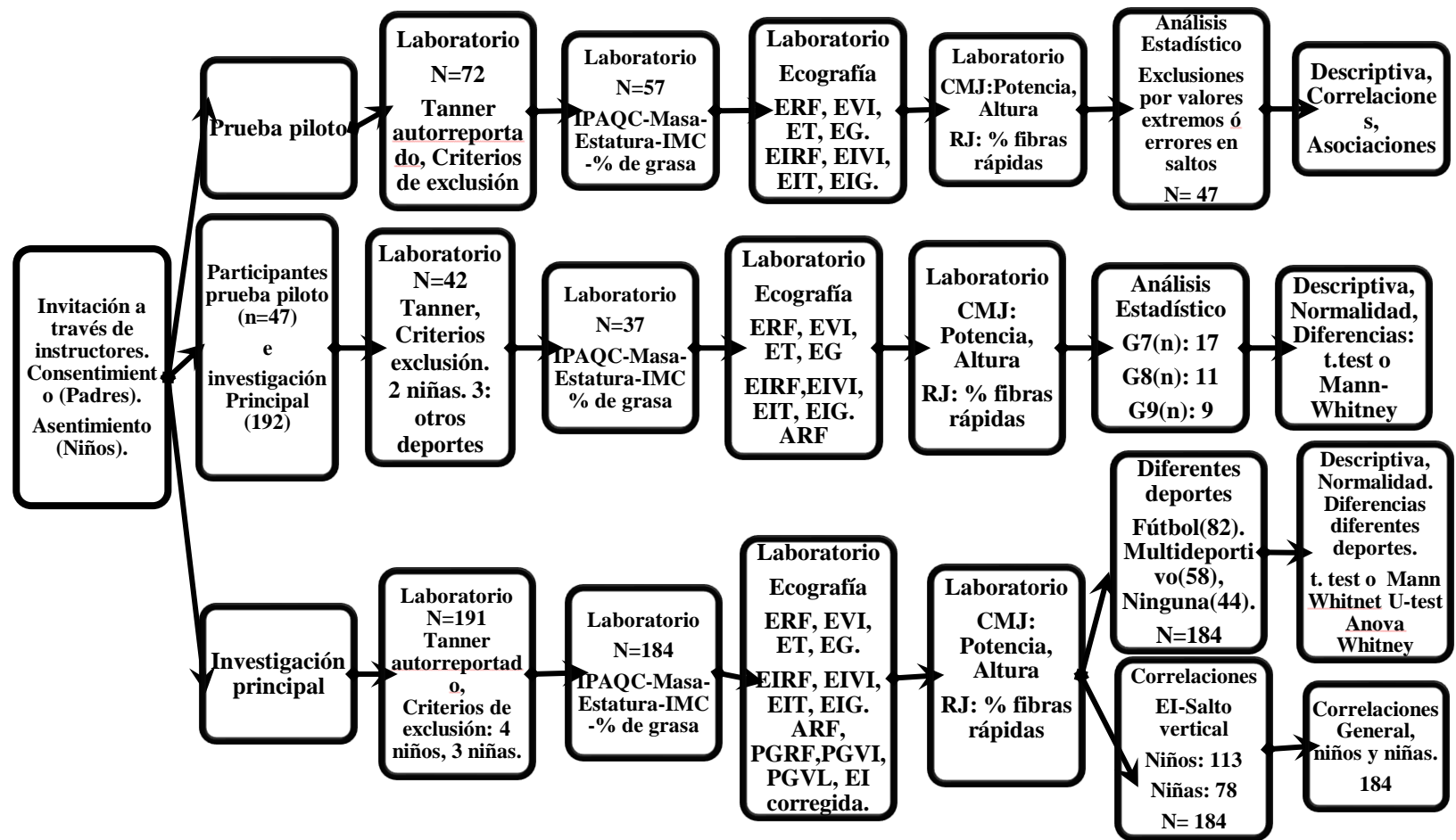


información obtenida de ambos saltos, CMJ y saltos continuos, se obtuvo la potencia del salto vertical (CMJ) y la proporción de fibras rápidas (saltos continuos).

La práctica deportiva se dividió en 3 grupos. El grupo de iniciación deportiva vertical, denominado como “fútbol”, estuvo compuesto por niños que solo practicaban este deporte. Este grupo entrenaba con una frecuencia de 3 veces por semana (martes, jueves y sábado), con una duración de 120 minutos por sesión. La estructura de la sesión de entrenamiento aborda contenidos de carácter físico, técnico y táctica desde una perspectiva integral, y aplicadas a situaciones de juego específicas. Las sesiones de entrenamiento fueron divididas en 8 bloques que incluían trabajo de elongación, propiocepción y estabilidad del core, fuerza, velocidad, resistencia aeróbica, técnica general, técnica específica, fútbol sectorial y fútbol competitivo integrado. El grupo de iniciación deportiva horizontal practica las modalidades de: voleibol, baloncesto, natación, gimnasia y cheerleading. Este grupo fue denominado como “multideportiva”, en el entrenamiento incluía principalmente contenidos relacionados con cualidades físicas coordinativas, y de forma secundaria, trabajaba las cualidades físicas condicionales. Lógicamente al trabajar las diferentes capacidades y habilidades motrices, se trabaja paralelamente la condición física de los niños. Este trabajo se realizaba mediante una metodología global y lúdica, sin incidir en el desarrollo de ninguna cualidad de forma especial. El grupo entrenaba solo una vez a la semana, 3 horas, rotando por diferentes deportes. Solo las niñas que practican “cheerleading” lo hacían dos veces a la semana 1,5 horas por sesión. El tercer grupo, denominado como “ninguno”, no practica deporte en un club deportivo de forma regular.

**Figura 4.**

*Diagrama del procedimiento llevado a cabo en el estudio. Fuente: propia.*



## 4.5 Análisis Estadístico

### 4.5.1 Correlaciones entre medidas ecográficas del cuádriceps y el salto vertical

El análisis estadístico fue realizado usando el software R 3.5.1 (Team, 2013). Se ha realizado un análisis descriptivo univariado de las variables medidas y calculadas, así como, un análisis de correlación entre las variables numéricas, calculándose el coeficiente de correlación de Pearson entre pares de variables, y los correspondientes valores p de la prueba de significancia de la correlación (prueba de dos colas). Por último, se llevó a cabo la prueba  $X^2$  de independencia (asociación) entre las variables categorizadas.

### 4.5.2 Diferencias en salto vertical y medidas ecográficas del cuádriceps en escolares futbolistas

Con el fin de facilitar el análisis y la presentación de los resultados, se han organizado las variables en tres grupos. El primer grupo (*Espesor*) incluye los espesores y el ángulo de pennación medidos por ecografía. El segundo grupo (*Eco-intensidad*) incluye las mediciones de eco-intensidad muscular y del tejido graso. El tercer grupo (*funcional*) incluye las mediciones de los saltos. El análisis estadístico fue realizado usando el software R 3.5.1. Para cada grupo de edad (G7=edad menor que 8 años, G8=Edad mayor o igual a 8 y menor que 9 años, G9=Edad mayor o igual a 9 años) se realizaron las tablas de medias en 2017 y 2018 (tabla 3), pruebas de normalidad y las correspondientes pruebas de hipótesis de diferencia de medias para datos dependientes (T. test o Mann-Whitney). Para aquellas variables en las que no se cumplieron las pruebas de normalidad, se aplicaron la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para datos pareados. Se definió el nivel de significancia estadística en  $\alpha=0.05$ . El análisis estadístico fue realizado usando el software R 3.5.1.

#### **4.5.3 Diferencias ecográficas del cuádriceps en diferentes modalidades deportivas.**

Para el análisis descriptivo de los aspectos sociodemográficos y ecográficos se utilizaron frecuencias absolutas, frecuencias relativas e indicadores de resumen como la media aritmética, la desviación estándar, la mediana, el rango intercuartílico, mínimos y máximos. Se estableció el criterio de normalidad de algunas variables por medio de la prueba de Shapiro Wilk y el criterio de homocedasticidad con la prueba de Levene. Para establecer la relación entre los aspectos sociodemográficos (sexo - tipo de deporte) y los aspectos ecográficos se aplicó la prueba t Student o la prueba U - Mann Whitney para la comparación de dos grupos independientes; y en caso de comparar tres grupos, se utilizó la prueba ANOVA de un factor o la prueba Kruskal-Wallis; estableciendo un valor  $p < 0.05$  como estadísticamente significativo. El proceso estadístico se realizó en el software Stata (Statacorp, versión 16.0, College Station, Texas, USA).

#### **4.5.4 Correlaciones entre EI muscular y salto vertical**

Para el análisis descriptivo de los aspectos sociodemográficos y ecográficos se utilizaron frecuencias absolutas, frecuencias relativas e indicadores de resumen como la media aritmética, la desviación estándar, la mediana, el rango intercuartílico, mínimos y máximos. Se estableció el criterio de normalidad de algunas variables por medio de la prueba de Jarque-Bera, y el criterio de homocedasticidad con la prueba de Levene. Para evaluar la correlación entre pruebas funcionales y los aspectos ecográficos se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, y se representó en una matriz de correlaciones. Un valor  $p < 0.05$  se consideró estadísticamente significativo. El proceso estadístico se realizó en el software Stata (Statacorp, versión 16.0, College Station, Texas, USA).

## 5. Resultados

### 5.1 Correlaciones entre medidas ecográficas del cuádriceps y el salto vertical

Con el fin de facilitar el análisis y la presentación de los resultados, se han organizado las variables en cuatro grupos. En la tabla 2 se presenta la forma de distribución de los grupos al igual que la media, desviación estándar y distribución por cuartiles de las variables. El primer grupo (*funcional*) incluye las mediciones de los saltos y el nivel de actividad medida por el cuestionario PAQC. El segundo grupo (*Eco-intensidad*) incluye las mediciones de eco-intensidad muscular y del tejido graso. El tercer grupo (*Espesor muscular*) incluye los espesores medidos por ecografía. Y el cuarto grupo (*Antropometría*) incluye los datos antropométricos y sociodemográficos. Para realizar el análisis de correlaciones se calcularon tres nuevas variables a partir de las eco-intensidades grasas y musculares medidas: Dif1, Dif2 y Dif3 (Wu et al., 2010).

Para el análisis de asociación posterior se categorizaron las variables de las agrupaciones Eco-intensidad, Espesor muscular y Funcional (excepto PAQC), así como, las variables Antropométricas Masa, PG y EG, usando escalas basadas en los cuartiles Q1 y Q3: Si “Valor $\leq$ Q1” se categorizó como “Baja”, si “Q1<Valor<Q3” como “Media” y si “Valor $\geq$ Q3” como “Alta”. Además, el IMC se categorizó, basándose en la clasificación por percentiles definida por Kuczmarski (2000), en “bajo peso”, “normal”, “riesgo de obesidad” y “obesidad”. El PAQC se categorizó, basado en el resultado de la puntuación de Chen et al. (2008), en “baja actividad” ( $\leq 2$ ), “moderada actividad” ( $>2$  y  $<3$ ) y “alta actividad” ( $\geq 3$ ) (Chen et al., 2008). La Edad se categorizó en “Menos de 8”, “entre 8 y 9” y “Mas de 9” acorde a la distribución de ésta en la población estudiada.

**Tabla 2.***Estadísticos descriptivos de las variables medidas en la prueba piloto.*

| Agrupación              | Variable  | Abreviatura | Media  | Desv. Est. | Mín    | Q1     | Q2     | Q3     | Máx     |
|-------------------------|---|-------------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| <b>Funcional</b>        | Altura CMJ (cm)   | CMJ         | 21.21  | 3.58       | 13.20  | 19.60  | 20.40  | 22.90  | 31.10   |
|                         | Potencia CMJ (Watt)   | CMJP        | 623.88 | 283.01     | 101.52 | 455.60 | 590.48 | 749.93 | 1378.74 |
|                         | % fibras FT   | FT          | 12.34  | 7.77       | 1.01   | 6.26   | 12.17  | 17.07  | 36.37   |
|                         | Nivel de Actividad física (PAQ-C)   | PAQC        | 3.01   | 0.66       | 1.37   | 2.70   | 2.91   | 3.39   | 4.36    |
| <b>Ecointensidad</b>    | Eco-intensidad longitudinal del recto femoral                                     | EIRFL       | 136.63 | 9.90       | 114.45 | 129.12 | 138.43 | 143.36 | 157.80  |
|                         | Eco-intensidad transversal del recto femoral                                      | EIRFT       | 129.96 | 10.36      | 97.13  | 124.66 | 129.16 | 136.30 | 152.57  |
|                         | Eco-intensidad longitudinal del vasto intermedio                                  | EIVIL       | 124.32 | 15.03      | 89.82  | 114.10 | 124.83 | 132.99 | 154.36  |
|                         | Eco-intensidad transversal del vasto intermedio                                   | EIVIT       | 122.35 | 12.92      | 87.47  | 114.51 | 123.89 | 132.16 | 147.54  |
|                         | Eco-intensidad grasa subcutánea   | EIGRASA     | 150.06 | 11.24      | 118.41 | 144.22 | 150.92 | 159.26 | 166.88  |
|                         | Diferencia entre EIGRASA y el promedio de EIRF Longitudinal y Transversal         | Dif1        | 16.76  | 12.23      | -3.36  | 4.26   | 17.71  | 27.28  | 36.47   |
|                         | Diferencia entre EIGRASA y el promedio de EIVI Longitudinal y Transversal         | Dif2        | 26.73  | 12.68      | 2.39   | 16.39  | 23.17  | 35.57  | 55.21   |
|                         | Diferencia entre EIGRASA y el promedio de EIRF y EIVI, Longitudinal y Transversal | Dif3        | 21.74  | 10.26      | 3.03   | 14.17  | 22.21  | 30.05  | 42.75   |
|                         | Espesor muscular del recto femoral longitudinal (mm)                              | ERFL        | 16.91  | 2.54       | 12.56  | 15.25  | 16.75  | 18.35  | 24.85   |
|                         | Espesor muscular del recto femoral corte transversal (mm)                         | ERFT        | 16.95  | 2.58       | 11.99  | 15.02  | 16.76  | 18.78  | 24.42   |
| <b>Espesor muscular</b> | Espesor muscular del vasto intermedio corte longitudinal (mm)                     | EVIL        | 11.50  | 2.16       | 6.39   | 10.35  | 11.56  | 12.92  | 16.55   |
|                         | Espesor muscular del vasto intermedio corte transversal (mm)                      | EVIT        | 11.06  | 2.33       | 5.82   | 9.81   | 11.23  | 12.33  | 15.37   |
| <b>Antropometría</b>    | Edad (años)   | Edad        | 8.44   | 1.06       | 6.87   | 7.51   | 8.50   | 9.36   | 10.46   |
|                         | Masa (kg)   | Masa        | 28.92  | 5.92       | 18.80  | 25.20  | 27.50  | 31.95  | 44.10   |
|                         | Estatura (cm)   | Estatura    | 129.78 | 6.23       | 118.50 | 125.10 | 131.00 | 132.85 | 144.00  |
|                         | IMC (kg/m <sup>2</sup> )  | IMC         | 17.04  | 2.43       | 12.03  | 15.47  | 16.11  | 18.21  | 23.96   |
|                         | Porcentaje de grasa   | % Grasa     | 13.87  | 6.44       | 5.63   | 9.00   | 11.12  | 16.60  | 30.40   |
|                         | Espesor de grasa subcutánea (mm)  | EG          | 5.96   | 3.13       | 1.59   | 3.36   | 4.85   | 8.39   | 12.58   |

La tabla 3 representa las correlaciones y las asociaciones entre variables. La prueba de asociación aparece en la parte superior, mientras en la parte inferior se muestran las correlaciones y en estas, entre paréntesis, su nivel de significancia. Los resultados obtenidos indican una moderada correlación entre la potencia del CMJ, el ERFL y ERFT (0.4765 a 0.5223, v.p. < 0,001). La prueba de  $X^2$  de independencia (v.p. Fisher= 0,1851 y 0,1425) no muestra asociación entre la potencia del CMJ, el ERFL y ERFT, respectivamente.

Los resultados para las variables: potencia del CMJ, EVIL y EVIT (0.3644 y 0.3694, v.p.< 0,05) indican una moderada correlación. La prueba de  $X^2$  de independencia (v.p. Fisher= 0,0236) muestra asociación entre la potencia del CMJ, el EVIL y EVIT. La correlación entre el porcentaje de fibras FT y la Dif1 (0.3009, v.p. 0,0399) indican una baja correlación. La prueba de  $X^2$  de independencia (v.p. Fisher = 0,09709) no muestra asociación entre el porcentaje de fibras FT y la Dif1.

Los resultados obtenidos para la correlación entre el porcentaje de fibras FT y la Dif3 (0.3555, v.p. 0,0142) indican una moderada correlación. La prueba de  $X^2$  de independencia (v.p. Fisher = 0,07003) no muestra asociación entre el porcentaje de fibras FT y la Dif3.

**Tabla 3.**

*Matriz de correlación de Pearson y valor-p de las pruebas de significancia de la correlación (abajo) y de asociación (arriba). Prueba piloto.*

|                | CMJ                  | CMJP                 | FT                  | PAQC                | EIRFT                | EIVIL                 | EIVIT                 | EIGRASA              | Dif1                 | Dif2                 | Dif3               | ERFT                | EVIT                 | Edad       |
|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------|
| <b>CMJ</b>     | 1                    | <.0001**             | 0.015*              | 0.6255              | 0.8113               | 0.9614                | 0.8113                | 0.3816               | 0.05765              | 0.6321               | 0.1201             | 0.5184              | 0.2215               | 0.05462    |
| <b>CMJP</b>    | 0.6946<br>(<.0001)** | 1                    | 0.0119*             | 0.1335              | 0.6862               | 0.6036                | 0.1062                | 0.7432               | 0.5367               | 0.8842               | 0.8194             | 0.1425              | 0.0236*              | 0.002715** |
| <b>FT</b>      | 0.5565<br>(<.0001)** | 0.3961<br>(0.0058)** | 1                   | 0.4679              | 0.02998*             | 0.8842                | 0.04396*              | 0.214                | 0.09709              | 0.1936               | 0.07003            | 0.9902              | 0.6733               | 0.6106     |
| <b>PAQC</b>    | -0.1624<br>(0.2754)  | -0.1202<br>(0.421)   | -0.0341<br>(0.8199) | 1                   | 0.9052               | 0.4354                | 0.4884                | 0.423                | 0.2641               | 0.005297**           | 0.05212            | 0.423               | 0.5817               | 0.07039    |
| <b>EIRFT</b>   | -0.1329<br>(0.3733)  | 0.1129<br>(0.4499)   | -0.1485<br>(0.3193) | 0.021<br>(0.8884)   | 1                    | 0.4274                | 0.4341                | 0.4868               | 0.02964*             | 0.8296               | 0.1676             | 0.3732              | 0.2936               | 0.4729     |
| <b>EIVIL</b>   | 0.1136<br>(0.4471)   | -0.0827<br>(0.5806)  | -0.0767<br>(0.6081) | 0.1572<br>(0.2913)  | 0.3869<br>(0.0072)** | 1                     | <.0001**              | 0.04957*             | 0.06224              | 0.0681               | 0.9902             | 0.2936              | 0.5019               | 0.1051     |
| <b>EIVIT</b>   | -0.0371<br>(0.8047)  | -0.1059<br>(0.4785)  | -0.0552<br>(0.7126) | 0.1389<br>(0.3519)  | 0.2992<br>(0.0411)*  | 0.7923<br>(<.0001)**  | 1                     | 0.01283*             | 0.1256               | 0.003179**           | 0.08545            | 0.4022              | 0.4274               | 0.1051     |
| <b>EIGRASA</b> | 0.2935<br>(0.0453)*  | 0.1175<br>(0.4315)   | 0.2385<br>(0.1064)  | -0.0728<br>(0.6268) | 0.3609<br>(0.0127)*  | 0.5407<br>(<.0001)**  | 0.3397<br>(0.0195)*   | 1                    | <.0001**             | 0.04396*             | <.0001**           | 0.4868              | 0.6142               | 0.1132     |
| <b>Dif1</b>    | 0.3609<br>(0.0127)*  | 0.0167<br>(0.9114)   | 0.3009<br>(0.0399)* | -0.0962<br>(0.5201) | -0.4236<br>(0.003)** | 0.2675<br>(0.0691)    | 0.1439<br>(0.3345)    | 0.6639<br>(<.0001)** | 1                    | 0.02082*             | <.0001**           | 0.5536              | 0.3026               | 0.5614     |
| <b>Dif2</b>    | 0.2117<br>(0.1532)   | 0.2071<br>(0.1624)   | 0.285<br>(0.0522)   | -0.2284<br>(0.1225) | -0.0619<br>(0.6792)  | -0.5172<br>(0.0002)** | -0.6781<br>(<.0001)** | 0.3927<br>(0.0063)** | 0.3565<br>(0.0139)*  | 1                    | <.0001**           | 0.02208*            | 0.04107*             | 0.02661*   |
| <b>Dif3</b>    | 0.346<br>(0.0172)*   | 0.138<br>(0.3551)    | 0.3555<br>(0.0142)* | -0.1985<br>(0.181)  | -0.2908<br>(0.0473)* | -0.1602<br>(0.2821)   | -0.3333<br>(0.0221)*  | 0.6384<br>(<.0001)** | 0.8164<br>(<.0001)** | 0.8305<br>(<.0001)** | 1                  | 0.121               | 0.1299               | 0.5048     |
| <b>ERFT</b>    | 0.0653<br>(0.663)    | 0.4765<br>(0.0007)** | 0.1<br>(0.5038)     | 0.167<br>(0.262)    | -0.203<br>(0.1712)   | -0.3636<br>(0.012)*   | -0.2505<br>(0.0895)   | -0.1632 (0,273)      | 0.0338<br>(0,8218)   | 0.1985<br>(0,1811)   | 0.1428<br>(0,3383) | 1                   | 0.3904               | 0.6875     |
| <b>EVIT</b>    | 0.1015<br>(0.4973)   | 0.3694<br>(0.0106)*  | 0.0404<br>(0.7873)  | -0.0149<br>(0.9208) | 0.2371<br>(0.1086)   | -0.4127<br>(0.0039)** | -0.4421<br>(0.0019)** | -0,0543<br>(0,7169)  | -0,3332<br>(0,0221)* | 0,4217<br>(0,0032)** | 0,062<br>(0,6789)  | 0,2329<br>(0,1151)  | 1                    | 0.1861     |
| <b>Edad</b>    | 0.2863<br>(0.0511)   | 0.5437<br>(<.0001)** | 0.0515<br>(0.7312)  | -0.272<br>(0.0644)  | 0.1979<br>(0.1823)   | -0.2455<br>(0.0962)   | -0,1858<br>(0,2112)   | -0,0008<br>(0,9958)  | -0,164<br>(0,2706)   | 0,2395<br>(0,1049)   | 0,0502<br>(0,7373) | 0,3399<br>(0,0194)* | 0,4058<br>(0,0047)** | 1          |

(\*  $p \leq 0,05$ . \*\* $p \leq 0,01$ ).



## 5.2 Diferencias en salto vertical y medidas ecográficas del cuádriceps

En la tabla 4 se muestra la distribución por grupos de edad de los niños y sus características antropométricas en los dos momentos de evaluación (2017 y 2018).

**Tabla 4.**

*Características de los participantes (Media y Desviación estándar). Diferencias en salto y eco en fútbol.*

| n            | Edad(años decimales) |       | Masa(Kg) |       | Estatura (cm) |        | IMC (Kg/m <sup>2</sup> ) |       | % grasa |       |
|--------------|----------------------|-------|----------|-------|---------------|--------|--------------------------|-------|---------|-------|
|              | 2017                 | 2018  | 2017     | 2018  | 2017          | 2018   | 2017                     | 2018  | 2017    | 2018  |
| <b>G7</b> 17 | 7.36                 | 8.18  | 26.65    | 28.65 | 124.21        | 129.72 | 17.25                    | 17.00 | 13.91   | 14.95 |
|              | ±0.33                | ±0.34 | ±4.55    | ±4.70 | ±4.49         | ±4.02  | ±2.67                    | ±2.51 | ±5.74   | ±5.64 |
| <b>G8</b> 11 | 8.50                 | 9.36  | 29.25    | 31.93 | 131.7         | 136.36 | 16.78                    | 17.10 | 12.98   | 15.25 |
|              | ±0.30                | ±0.30 | ±5.30    | ±6.20 | ±3.53         | ±3.17  | ±2.35                    | ±2.82 | ±5.91   | ±6.75 |
| <b>G9</b> 9  | 9.39                 | 10.25 | 34.33    | 36.51 | 137.5125      | 142.25 | 18.00                    | 17.85 | 15.25   | 15.23 |
|              | ±0.32                | ±0.32 | ±7.58    | ±8.58 | ±6.26         | ±5.99  | ±2.86                    | ±2.96 | ±8.47   | ±8.33 |

Los resultados obtenidos (Tabla 5) muestran como el espesor del recto femoral y el espesor total del cuádriceps aumentaron significativamente en los tres grupos (v.p. = 0.0003-0.0076) (figuras 5 y 6). El espesor del vasto intermedio aumentó significativamente en los grupos G7 y G8 (v.p. = 0.0359 - 0.0179, respectivamente) (Figura 7). El ángulo de pennación del recto femoral se incrementó significativamente solo en el G9 (v.p.= 0.0303) (figura 8). La eco-intensidad tuvo modificaciones significativas en el grupo G9 (EIRF, v.p.= 0.0214; EIVI v.p.= 0.0347; Dif2 v.p.= 0.0422; Dif3 v.p.= 0.0390) (Figuras 9, 10, 11 y 12). Respecto a la variable salto, solo se han obtenido mejoras significativas en la potencia del salto vertical (PCMJ) en el grupo G7 (v.p.= 0.0018) (figura 13).

Tabla 5.

*Variables ecográficas y funcionales (diferencias en salto y eco en fútbol).*

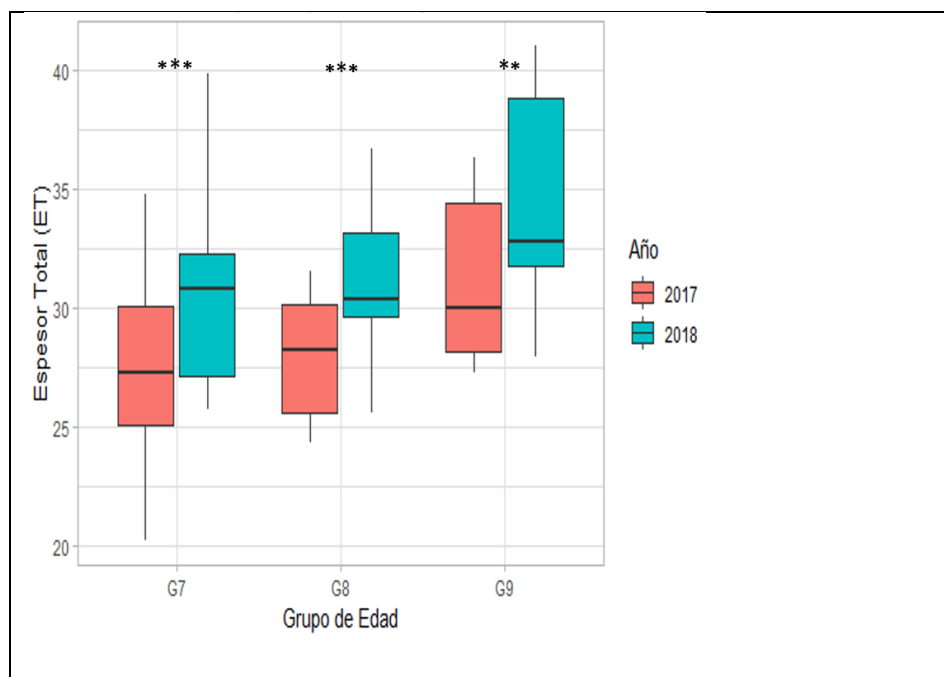
| Espesores      | ERF(mm) |       | EVI(mm) |        | ET(mm) |       | EG(mm)  |       | ARF(°) |       |       |       |
|----------------|---------|-------|---------|--------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Media G7 2017  | 16.40   | 2.05  | 11.08   | 2.61   | 27.48  | 4.01  | 5.69    | 2.71  | 28.74  | 15.55 |       |       |
| Media G7 2018  | 18.77   | 2.52  | 12.08   | 2.78   | 30.85  | 4.17  | 6.29    | 2.89  | 32.04  | 14.15 |       |       |
| Diferencia     | -2.38   | ***   | -0.99   | *      | -3.37  | ***   | -0.60   |       | -3.30  |       |       |       |
| Eco-intensidad | EIRF    |       | EIVI    |        | EIG    |       | Dif1    |       | Dif2   |       | Dif3  |       |
| Media G7 2017  | 128.04  | 11.62 | 119.65  | 14.87  | 150.49 | 13.39 | 22.45   | 12.99 | 30.84  | 18.01 | 26.64 | 13.73 |
| Media G7 2018  | 128.73  | 5.88  | 112.33  | 15.22  | 148.47 | 8.28  | 19.74   | 10.91 | 36.14  | 16.97 | 27.94 | 11.95 |
| Diferencia     | -0.69   |       | 7.32    |        | 2.02   |       | 2.71    |       | -5.30  |       | -1.29 |       |
| Funcionales    | CMJ(cm) |       | PCMJ(W) |        | FT(%)  |       | PM15(W) |       |        |       |       |       |
| Media G7 2017  | 19.87   | 3.10  | 473.43  | 191.22 | 8.16   | 9.87  | 14.68   | 2.57  |        |       |       |       |
| Media G7 2018  | 21.49   | 3.70  | 630.05  | 227.80 | 7.72   | 6.35  | 14.57   | 1.65  |        |       |       |       |
| Diferencia     | -1.62   |       | -156.61 | **     | 0.44   |       | 0.11    |       |        |       |       |       |
| Espesores      | ERF(mm) |       | EVI(mm) |        | ET(mm) |       | EG(mm)  |       | ARF(°) |       |       |       |
| Media G8 2017  | 17.33   | 2.54  | 10.61   | 1.98   | 27.94  | 2.61  | 5.35    | 2.28  | 22.84  | 13.60 |       |       |
| Media G8 2018  | 19.14   | 2.82  | 11.82   | 2.44   | 30.97  | 3.31  | 6.53    | 3.19  | 22.48  | 8.33  |       |       |
| Diferencia     | -1.81   | ***   | -1.21   | *      | -3.02  | ***   | -1.18   |       | 0.35   |       |       |       |
| Eco-intensidad | EIRF    |       | EIVI    |        | EIG    |       | Dif1    |       | Dif2   |       | Dif3  |       |
| Media G8 2017  | 134.13  | 9.18  | 128.57  | 10.84  | 152.80 | 11.01 | 18.67   | 14.30 | 24.23  | 15.38 | 21.45 | 12.74 |
| Media G8 2018  | 130.53  | 9.24  | 123.34  | 9.56   | 147.62 | 11.38 | 17.10   | 13.73 | 24.28  | 8.86  | 20.69 | 9.20  |
| Diferencia     | 3.60    |       | 5.22    |        | 5.17   | *     | 1.57    |       | -0.05  |       | 0.76  |       |
| Funcionales    | CMJ(cm) |       | PCMJ(W) |        | FT(%)  |       | PM15(W) |       |        |       |       |       |
| Media G8 2017  | 20.51   | 3.55  | 597.55  | 171.34 | 7.31   | 12.96 | 14.46   | 3.37  |        |       |       |       |
| Media G8 2018  | 20.12   | 2.94  | 668.62  | 204.25 | 5.43   | 5.11  | 13.97   | 1.33  |        |       |       |       |
| Diferencia     | 0.39    |       | -71.07  |        | 1.88   |       | 0.49    |       |        |       |       |       |
| Espesores      | ERF(mm) |       | EVI(mm) |        | ET(mm) |       | EG(mm)  |       | ARF(°) |       |       |       |
| Media G9 2017  | 19.13   | 3.66  | 12.11   | 1.57   | 31.24  | 3.74  | 6.02    | 3.55  | 28.77  | 12.69 |       |       |
| Media G9 2018  | 21.19   | 3.59  | 13.17   | 1.98   | 34.36  | 4.74  | 6.53    | 4.27  | 37.23  | 13.82 |       |       |
| Diferencia     | -2.06   | ***   | -1.06   |        | -3.12  | **    | -0.51   |       | -8.47  | *     |       |       |
| Eco-intensidad | EIRF    |       | EIVI    |        | EIG    |       | Dif1    |       | Dif2   |       | Dif3  |       |
| Media G9 2017  | 132.56  | 4.96  | 119.91  | 13.09  | 151.84 | 11.55 | 19.29   | 12.63 | 31.93  | 14.46 | 25.61 | 11.69 |
| Media G9 2018  | 126.19  | 8.98  | 111.78  | 14.88  | 152.62 | 13.94 | 26.43   | 15.29 | 40.84  | 14.97 | 33.63 | 13.47 |
| Diferencia     | 6.37    | *     | 8.13    | *      | -0.78  |       | -7.14   |       | -8.91  | *     | -8.02 | *     |
| Funcionales    | CMJ(cm) |       | PCMJ(W) |        | FT(%)  |       | PM15(W) |       |        |       |       |       |
| Media G9 2017  | 25.29   | 1.41  | 1031.39 | 268.63 | 16.63  | 8.08  | 16.89   | 2.10  |        |       |       |       |
| Media G9 2018  | 25.45   | 3.97  | 1115.02 | 226.97 | 14.66  | 7.30  | 16.37   | 1.90  |        |       |       |       |
| Diferencia     | -0.16   |       | -83.63  |        | 1.97   |       | 0.51    |       |        |       |       |       |

Media y desviación estandar. \*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001. ERF(Espesor Recto Femoral), EVI(Espesor Vasto In ET(Espesor Total), EG(Espesor Grasa subcutánea), ARF(Ángulo de pennación Recto Femoral), EIRF(Eco-intensidad Recto Femoral),EIVI(Eco-intensidad Vasto Intermedio), EIG(Eco-intensidad Grasa subcutánea Dif1(EIG-EIRF), Dif2(EIG-EIVI),Dif3(EIG-((EIRF+EIVI)/2), Contramovimiento), CMJ(Salto Con Contramovimiento), PCMJ(Potencia del Salto con FT(% de fibras Rápidas), PM15(Potencia de Saltos continuos).

El espesor total, suma del espesor del recto femoral y el espesor del vasto intermedio en los 3 grupos aumentó significativamente (G7 y el G8: v.p.= 0.00063 y 0.00048, respectivamente. G9: v.p.= 0.00761) (Figura 5).

**Figura 5.**

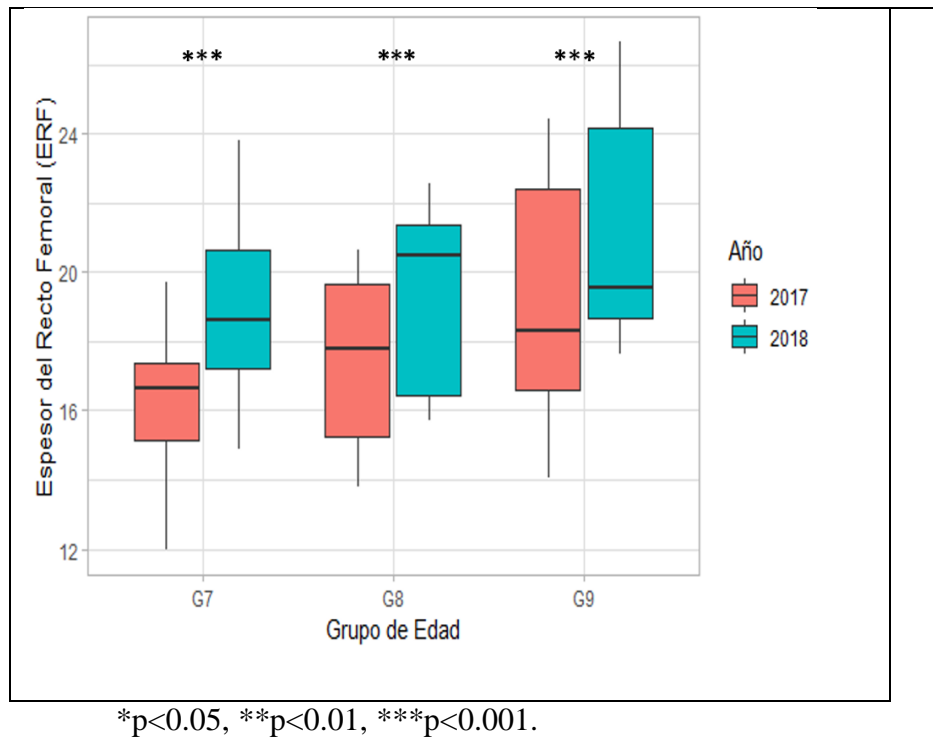
*ET discriminada por grupo de edad y año.*



\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001.

El espesor del recto femoral aumento significativamente en los 3 grupos (G7 v.p.=0.00018; G8 v.p.= 0.00098; y G9. v.p.= 0.0003) (Figura 6).

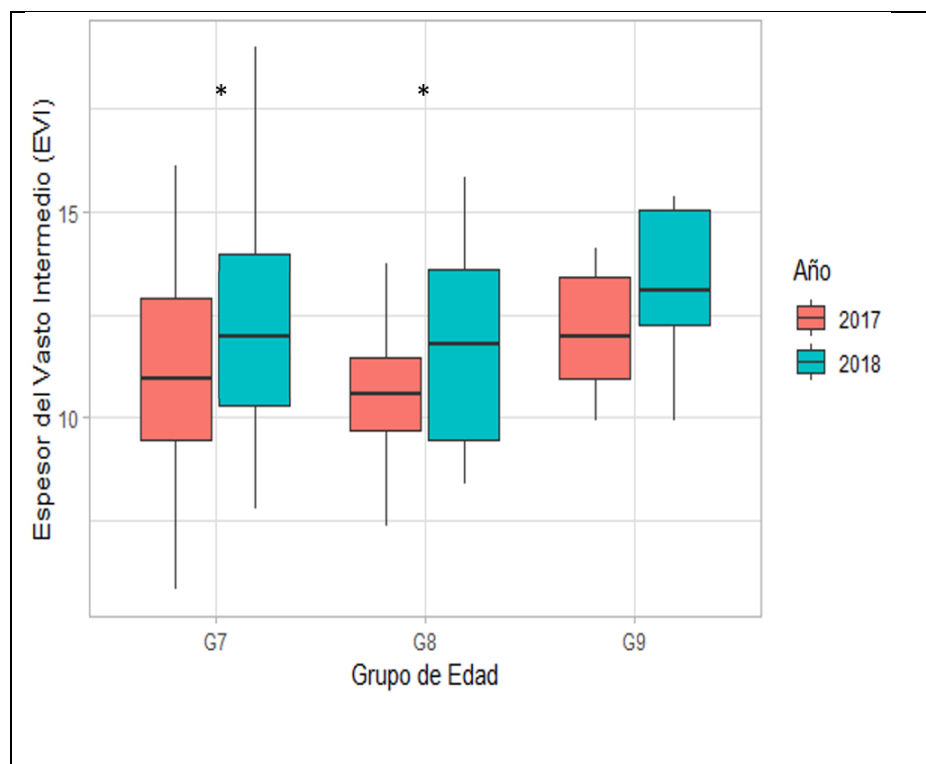
El espesor del vasto intermedio aumentó significativamente en los grupos G7 y G8 (v.p. = 0.0359 - 0.0179, respectivamente). El grupo G9 aumentó, pero no fue estadísticamente significativo (v.p.= 0.1738369) (Figura 7).

**Figura 6.***ERF discriminada por edad y año.*

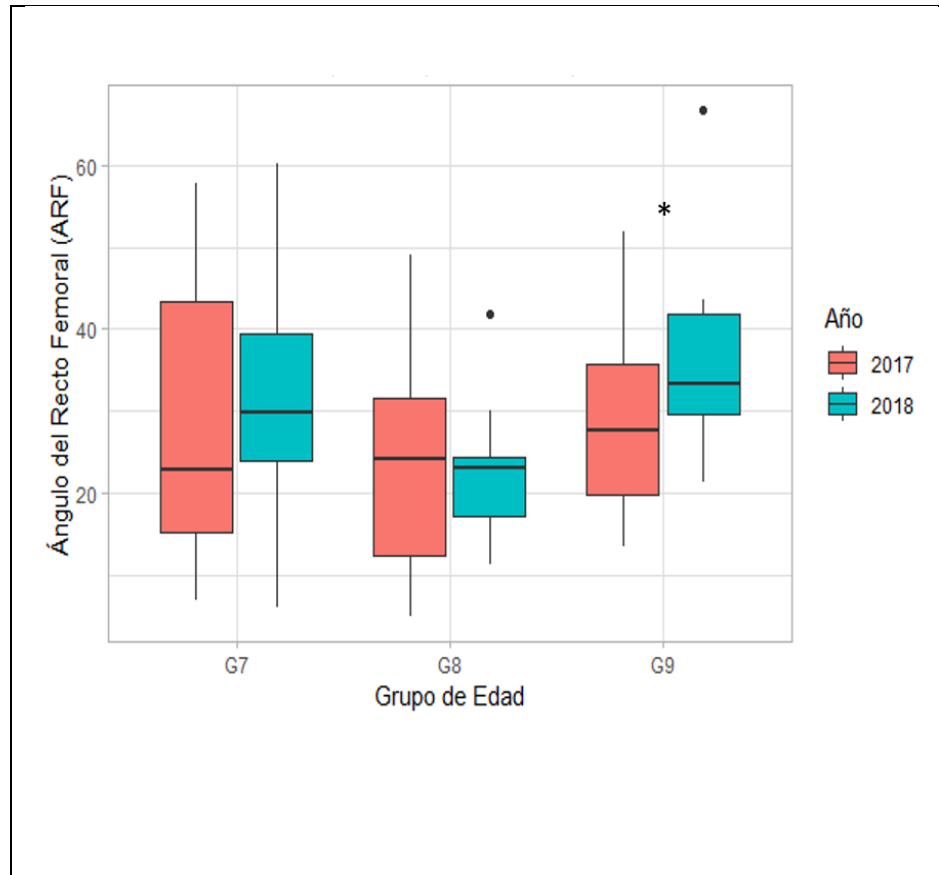
El ángulo de pennación del recto femoral se incrementó significativamente solo en el G9 (v.p.= 0.0303). En el G7 aumentó, pero este no fue estadísticamente significativo (v.p.= 0.2028774) mientras en el G8 disminuyó, pero su diferencia tampoco fue estadísticamente significativa (v.p.= 0.9045201) (figura 8).

**Figura 7.**

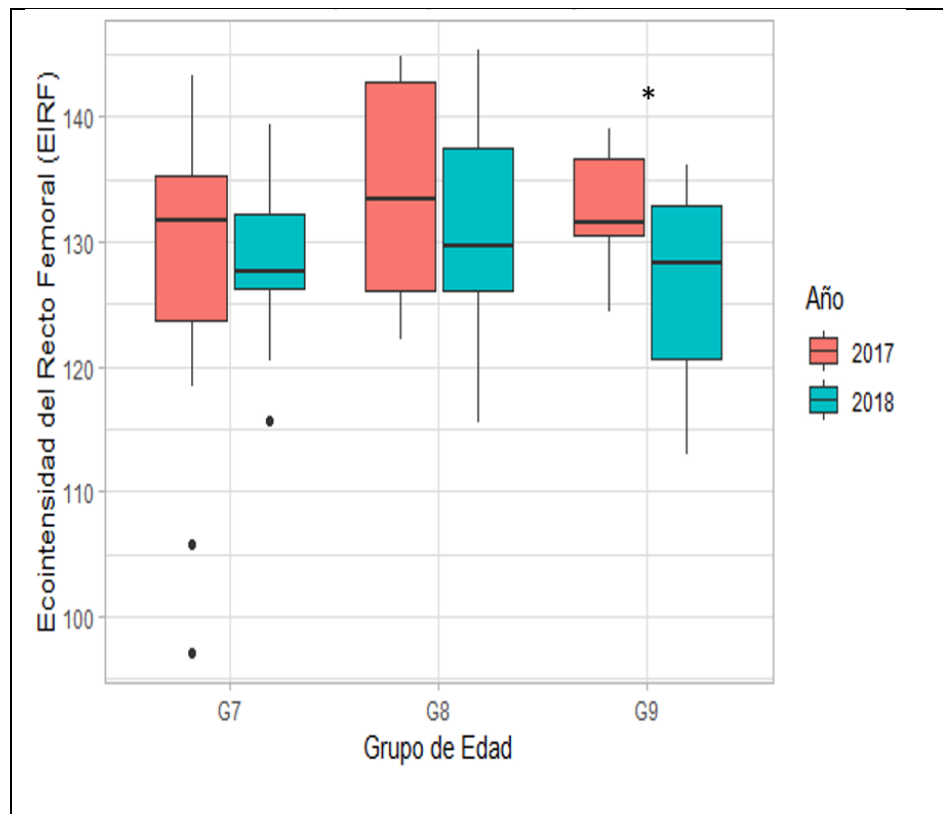
*EVI discriminado por Grupo de Edad y Año.*



\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

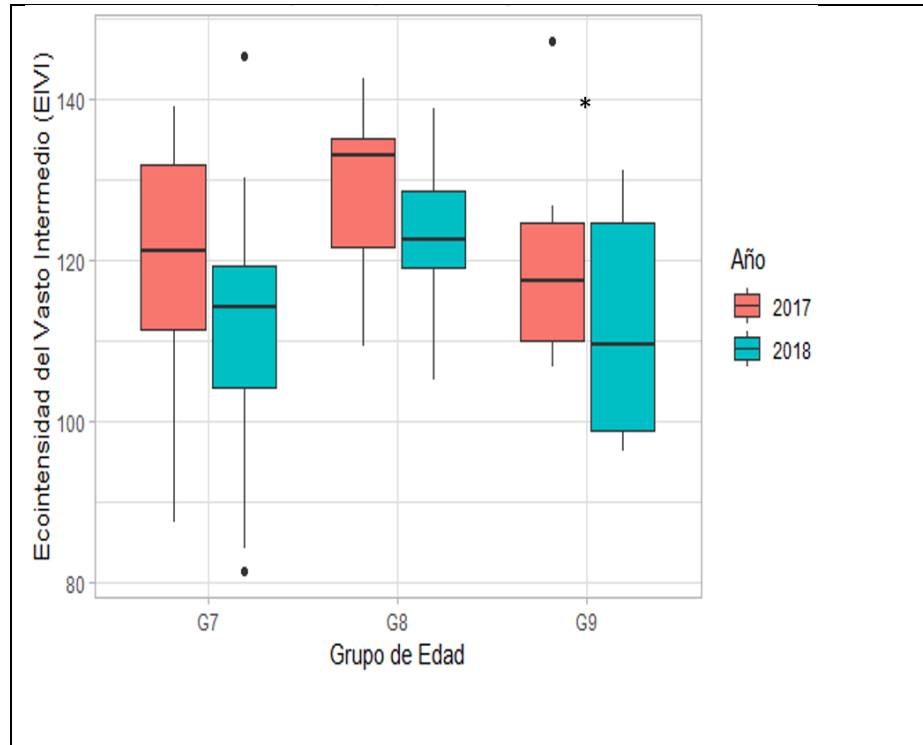
**Figura 8.***ARF discriminado por Grupo de Edad y Año.*\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

La eco-intensidad del recto femoral tuvo modificaciones significativas en el grupo G9 (EIRF, v.p.= 0.0214). en el G7 aumentó y en el G8 disminuyó, pero sus diferencias no fueron estadísticamente significativas (v.p.= 0.4951 y 0.0518, respectivamente) (Figura 9).

**Figura 9.***EIRF discriminada por edad y año.*

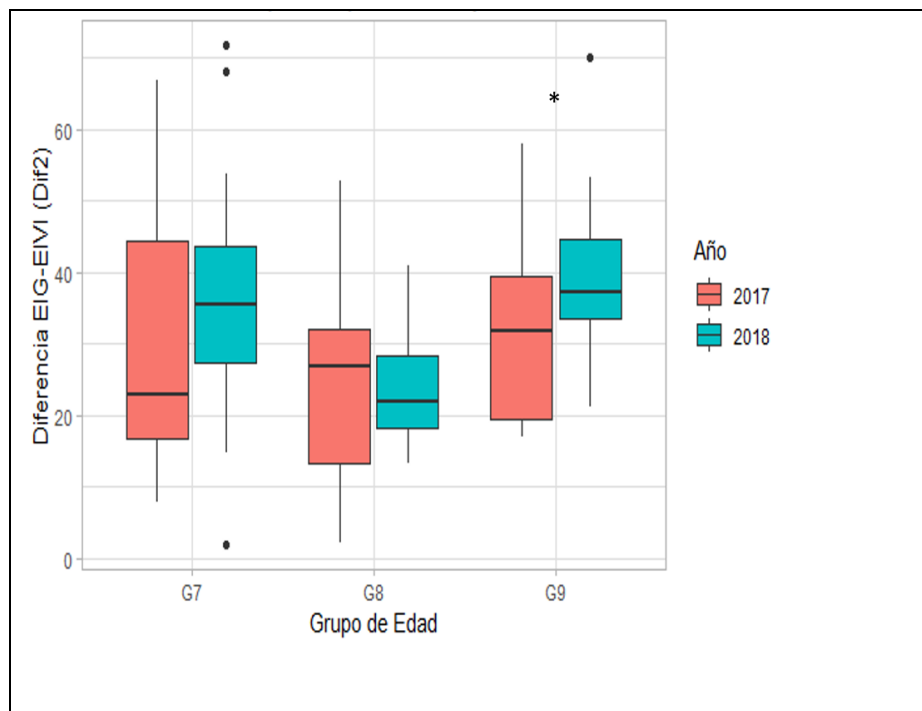
\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

La eco-intensidad del vasto intermedio tuvo modificaciones significativas en el grupo G9 (EIVI v.p.= 0.0347). en el G7 disminuyó y en el G8 aumento, pero sus diferencias no fueron significativas (v.p.= 0.0709 y 0.1516971, respectivamente) (Figura 10).

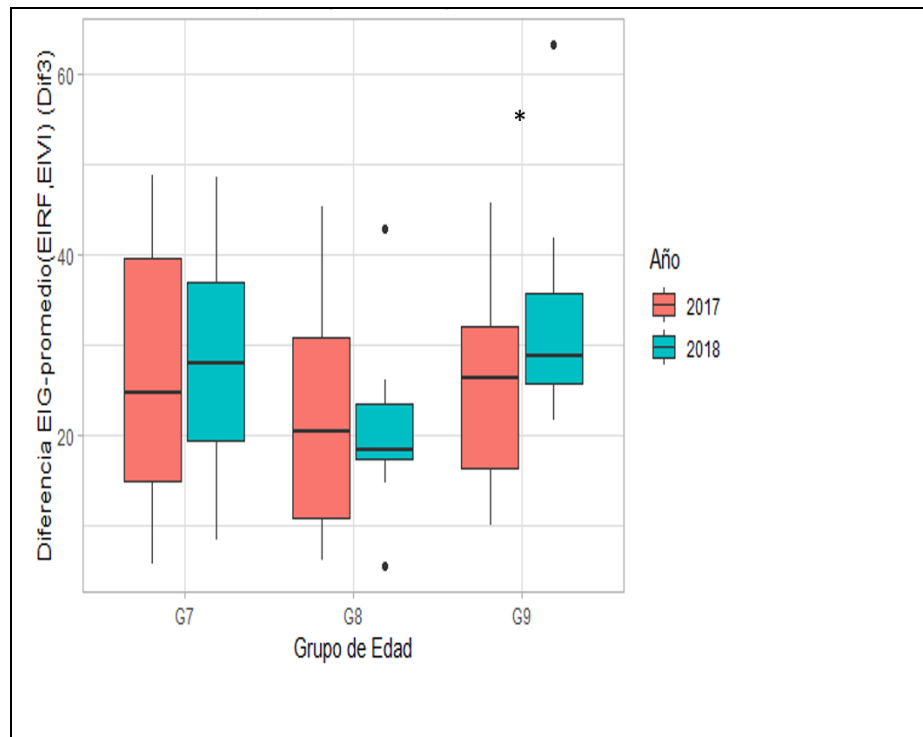
**Figura 10.***EIVI discriminada por Grupo de Edad y Año.*\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

La diferencia de eco-intensidad del tejido graso subcutáneo y el vasto intermedio tuvo modificaciones significativas en el grupo G9 (Dif2 v.p.= 0.0422). En los grupos G7 y G8 estas diferencias aumentaron, pero no fueron significativas (v.p.= 0.0974 y 0.9885, respectivamente) (Figura 11).



**Figura 11.***Dif2 discriminada por Grupo de Edad y Año.*\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

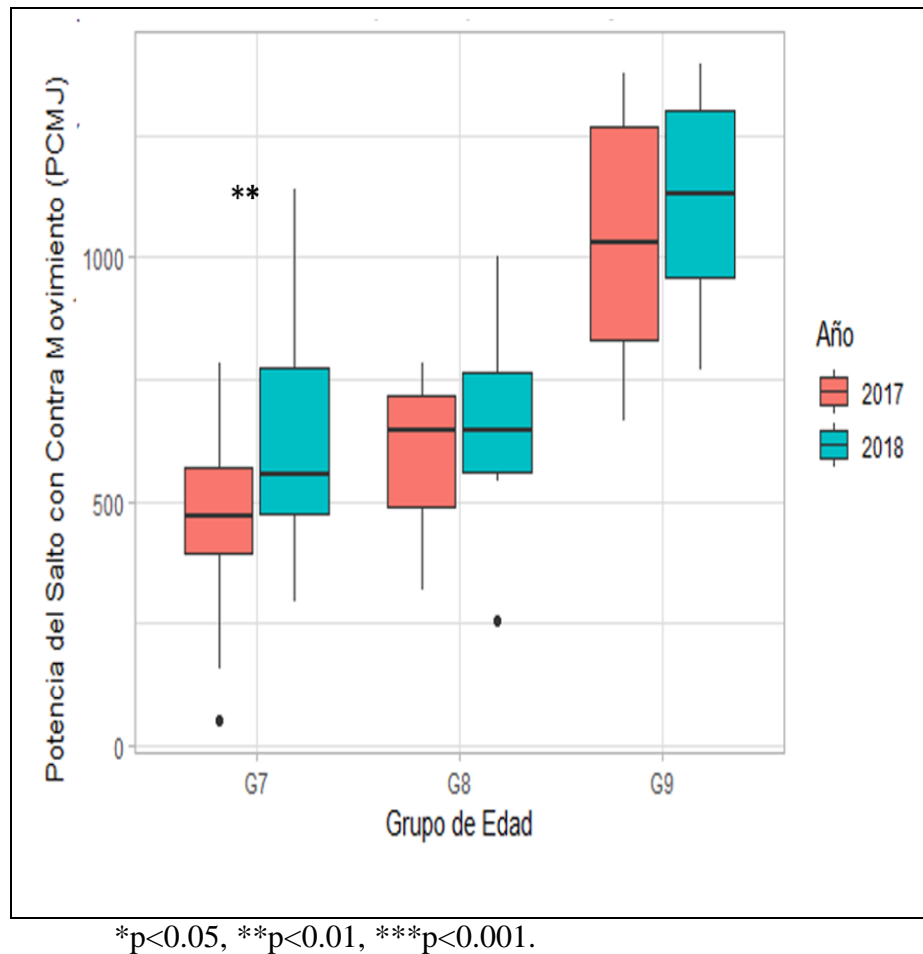
La diferencia de eco-intensidad del tejido graso subcutáneo y el promedio del recto femoral y del vasto intermedio tuvo modificaciones significativas en el grupo G9 (Dif3 v.p.= 0.0390). esta diferencia aumentó en el G7 y disminuyó en el G8, pero sus cambios no fueron significativos (v.p.= 0.5471 y 0.7645, respectivamente) (Figura 12).

**Figura 12.***Dif3 discriminada por grupo de Edad y Año.*\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ .

Respecto a la variable salto, solo se han obtenido mejoras significativas en la potencia del salto vertical (PCMJ) en el grupo G7 (v.p.= 0.0018). Tanto el grupo G8 como el G9 aumentaron la potencia del salto, pero no fue significativa la diferencia (v.p.= 0.5195 y 0.1546, respectivamente) (figura 13).

**Figura 13.**

*PCMJ discriminada por Grupo de Edad y Año.*



### 5.3 Diferencias ecográficas del cuádriceps en diferentes modalidades deportivas.

La muestra fue dividida en 3 grupos con base en el deporte que practican y según el género. En la tabla 6 se muestran los resultados de los niños en los tres grupos. Debido a que solo una niña practica fútbol, no fue incluida en el análisis estadístico. Consecuentemente, en el análisis estadístico de las niñas solo se han incluido dos de los grupos, “*multideportiva*” y “*ninguno*”. En la tabla 7, los resultados de los dos grupos para las niñas y los niños.

**Tabla 6.***Distribución de las características ecográficas cuantitativas según tipo de deporte (niños).*

|       |  | <b>Fútbol<br/>(n= 81)</b>    | <b>Multideportiva<br/>(n= 15)</b> | <b>Ninguno<br/>(n = 13)</b>  | <b>p value</b>   |
|-------|--|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------|
| EIG*  | EI grasa región anterior del muslo                       | 146.19<br>(13.19)            | 145.47 (11.36)                    | 141.16 (11.57)               | 0.2021           |
| EIRF  | EI del recto femoral                                     | 155.41 ±<br>19.40            | 168.85 ± 13.89                    | 164.72 ± 15.47               | 0.0162 †         |
| PGRF  | % de grasa del recto femoral                             | 19.12 ± 1.79                 | 20.36 ± 1.28                      | 19.97 ± 1.42                 | 0.0162 †         |
| EIVIC | EI del VI muslo anterior                                 | 142.28 ±<br>16.82            | 145.28 ± 12.81                    | 148.92 ± 11.54               | 0.3375           |
| PGVI  | % de grasa del VI  | 21.41 ± 1.90                 | 21.72 ± 1.45                      | 22.15 ± 1.30                 | 0.3491           |
| Dif1  | Diferencia entre EIG y EIRF                              | -7.99 ± 24.64                | -24.61 ± 18.43                    | -21.46 ± 20.88               | 0.0148 †         |
| Dif2  | Diferencia entre EIG y EIVI                              | 5.13 ± 20.34                 | -1.03 ± 17.31                     | -5.65 ± 16.49                | 0.1307           |
| Dif3  | Diferencia entre EIG y media de EIRF y EIVI              | -1.43 ± 21.26                | -12.82 ± 16.86                    | -13.56 ± 17.82               | 0.0351 †         |
| EIGL  | EI grasa región lateral del muslo                        | 135.07 ±<br>11.81            | 134.45 ± 11.19                    | 138.55 ± 9.12                | 0.5631           |
| EIVL  | EI del vasto lateral                                     | 161.54 ±<br>18.11            | 168.23 ± 16.33                    | 170.53 ± 11.76               | 0.1207           |
| PGVL  | % de grasa del vasto lateral                             | 23.62 ± 2.05                 | 24.37 ± 1.85                      | 24.63 ± 1.32                 | 0.1224           |
| EIVIE | EI del VI muslo externo                                  | 139.14 ±<br>19.24            | 137.77 ± 13.77                    | 142.16 ± 11.26               | 0.7986           |
| PGVIE | % de grasa del VI región externa                         | 21.06 ± 2.18                 | 20.90 ± 1.56                      | 21.39 ± 1.28                 | 0.8058           |
| Dif4  | Diferencia entre EIG y EI del VL                         | -26.47 ±<br>17.83            | -33.78 ± 15.33                    | -31.91 ± 9.83                | 0.2101           |
| Dif5* | Diferencia entre EIG y EIVI región externa               | -6.06 (22.83)                | -4.85 (32.32)                     | -5.01 (22.11)                | 0.9553           |
| Dif6* | Diferencia entre EIG y media de EIVL y VI región externa | -16.61<br>(23.65)            | -22.15 (24.64)                    | -19.28 (13.18)               | 0.7192           |
| EG*   | Espesor del tejido celular subcutáneo                    | 5.79 (4.71)                  | 7.86 (3.79)                       | 9.57 (5.43)                  | 0.0216 †         |
| ERF*  | Espesor del recto femoral                                | 18.86 (4.43)                 | 20.07 (4.71)                      | 20.93 (4)                    | 0.2854           |
| EVI   | Espesor del VI región anterior                           | 12.07 ± 2.80                 | 12.81 ± 2.48                      | 14.41 ± 3.38                 | 0.0226 †         |
| ET    | Espesor total del cuadriceps(ERF + EVI)                  | 33.01 ± 4.77                 | 34.16 ± 5.06                      | 36.08 ± 5.14                 | 0.0985           |
| EGL*  | Espesor del tejido celular subcutáneo región lateral     | 4.28 (3.93)                  | 5.86 (2.93)                       | 6.93 (4.43)                  | 0.0343 †         |
| EVL   | Espesor del VL   | 14.04 ± 2.93<br>10.71 (3.43) | 13.94 ± 3.47<br>12.43 (4.35)      | 14.34 ± 2.79<br>13.57 (1.07) | 0.9325<br>0.0043 |
| EVIE* | Espesor del VI región lateral                            | 27.24 ± 3.93                 | 27.86 ± 6.28                      | 30.18 ± 4.96                 | ††<br>0.088      |
| ETL   | Espesor total región lateral (EVL+EVI)                   |                              |                                   |                              |                  |
| ARF*  | Ángulo de penneación del recto femoral                   | 12.87 (3.66)                 | 12.6 (2.68)                       | 10.79 (1.42)                 | 0.024 †          |
| AVL*  | Ángulo de penneación del vasto lateral                   | 14.51<br>(3.97)              | 11.67 (2.43)                      | 12.13 (1.46)                 | 0.0018<br>††     |

Los datos se presentan en media aritmética ± desviación estándar. \*Los datos se presentan en mediana (rango intercuartílico). †p≤0,05. ††p≤0,01

**Tabla 7.***Distribución de las características ecográficas cuantitativas según tipo de deporte.*

|       | Niños                   |                   | p value   | Niñas                   |                   | p value  |
|-------|-------------------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------------|----------|
|       | Multideportiva<br>n= 15 | Ninguno<br>n = 13 |           | Multideportiva<br>n= 43 | Ninguno<br>n = 31 |          |
| EIG*  | 145.47 (11.36)          | 141.16 (11.57)    | 0.6177    | 142.04 (11.49)          | 142.43<br>(9.91)  | 0.7306   |
| EIRF  | 168.85 ± 13.89          | 164.72 ± 15.47    | 0.4629    | 169.60 ± 13.89          | 169.17 ±<br>15.40 | 0.9004   |
| PGRF  | 20.36 ± 1.28            | 19.97 ± 1.42      | 0.4531    | 20.43 ± 1.28            | 20.39 ±<br>1.42   | 0.8997   |
| EIVI  | 145.28 ± 12.81          | 148.92 ± 11.54    | 0.4399    | 151.85 ± 14.67          | 153.15 ±<br>15.68 | 0.7149   |
| PGVI  | 21.72 ± 1.45            | 22.15 ± 1.30      | 0.4406    | 22.49 ± 1.66            | 22.64 ±<br>1.77   | 0.7128   |
| Dif1  | -24.61 ± 18.43          | -21.46 ± 20.88    | 0.6753    | -27.43 ± 16.42          | -25.89 ±<br>19.28 | 0.7102   |
| Dif2  | -1.03 ± 17.31           | -5.65 ± 16.49     | 0.4777    | -9.68 ± 16.21           | -9.86 ±<br>18.91  | 0.9644   |
| Dif3  | -12.82 ± 16.86          | -13.56 ± 17.82    | 0.9112    | -18.56 ± 14.99          | -17.88 ±<br>18.33 | 0.8604   |
| EIGL  | 134.45 ± 11.19          | 138.55 ± 9.12     | 0.3027    | 138.56 ± 7.87           | 134.60 ±<br>5.64  | 0.0191†  |
| EIVL  | 168.23 ± 16.33          | 170.53±11.76      | 0.6772    | 172.11 ± 13.42          | 171.01 ±<br>12.40 | 0.7206   |
| PGVL  | 24.37 ± 1.85            | 24.63 ± 1.32      | 0.6859    | 24.81 ± 1.52            | 24.68 ±<br>1.40   | 0.7199   |
| EIVIE | 137.77 ± 13.77          | 142.16 ± 11.26    | 0.3689    | 150.70 ± 15.61          | 150.88 ±<br>13.23 | 0.9582   |
| PGVIE | 20.90 ± 1.56            | 21.39 ± 1.28      | 0.3756    | 22.37 ± 1.77            | 22.39 ±<br>1.50   | 0.9568   |
| Dif4  | -33.78 ± 15.33          | -31.91 ± 9.83     | 0.7191    | -33.54 ± 11.71          | -36.41 ±<br>13.03 | 0.3233   |
| Dif5* | -4.85 (32.32)           | -5.01 (22.11)     | 0.9639    | -14.70 (20.93)          | -14.69<br>(14.94) | 0.327    |
| Dif6* | -22.15 (24.64)          | -19.28 (13.18)    | 0.7168    | -23.09 (13.02)          | -25.92<br>(15.61) | 0.3377   |
| EG*   | 7.86 (3.79)             | 9.57 (5.43)       | 0.5942    | 8.42 (3.12)             | 7.78 (5.14)       | 0.7995   |
| ERF*  | 20.07 (4.71)            | 20.93 (4)         | 0.413     | 17.61 (2.96)            | 16.36 (3)         | 0.0221 † |
| EVI   | 12.81 ± 2.48            | 14.41 ± 3.38      | 0.1624    | 13.26 ± 2.50            | 14.25 ±<br>3.23   | 0.1382   |
| ET    | 34.16 ± 5.06            | 36.08 ± 5.14      | 0.3295    | 33.20 ± 4.28            | 32.62 ±<br>4.60   | 0.5718   |
| EGL*  | 5.86 (2.93)             | 6.93 (4.43)       | 0.2124    | 6.36 (2.99)             | 5.78 (3.21)       | 0.5945   |
| EVL   | 13.94 ± 3.47            | 14.34 ± 2.79      | 0.7437    | 12.57 ± 2.50            | 13.44 ±<br>2.57   | 0.149    |
| EVIE* | 12.43 (4.35)            | 13.57 (1.07)      | 0.2589    | 11.21 (3.50)            | 11.14 (3.36)      | 0.659    |
| ETL   | 27.86 ± 6.28            | 30.18 ± 4.96      | 0.2938    | 26.25 ± 3.85            | 26.94 ±<br>4.35   | 0.4667   |
| ARF*  | 12.6 (2.68)             | 10.79 (1.42)      | 0.0052 †† | 11.75 (3.28)            | 10.86 (2.13)      | 0.1419   |
| AVL*  | 11.67 (2.43)            | 12.13 (1.46)      | 0.7168    | 12.48 (3.34)            | 11.29 (1.26)      | 0.0176 † |

Los datos se presentan en media aritmética ± desviación estándar. \*Los datos se presentan en mediana (rango intercuartílico). †p≤0.05. ††p≤0,01

#### 5.4 Correlaciones entre EI muscular y salto vertical

Los resultados referentes a los aspectos sociodemográficos, de salto vertical y ecográficos son presentados por valores de media y desviación estándar en la tabla 8. Producto de la aplicación de los criterios de exclusión se analizaron los datos de 184 menores (75 niñas, edad:  $9.41 \pm 0.91$  años. 109 niños, edad:  $8.97 \pm 1.1$

Posteriormente se presentarán las correlaciones representadas en tres matrices (figuras 14, 15 y 16). En cada una de ellas, la intensidad del color azul define mayor correlación positiva, mientras que la intensidad del color rojo define mayor correlación negativa.

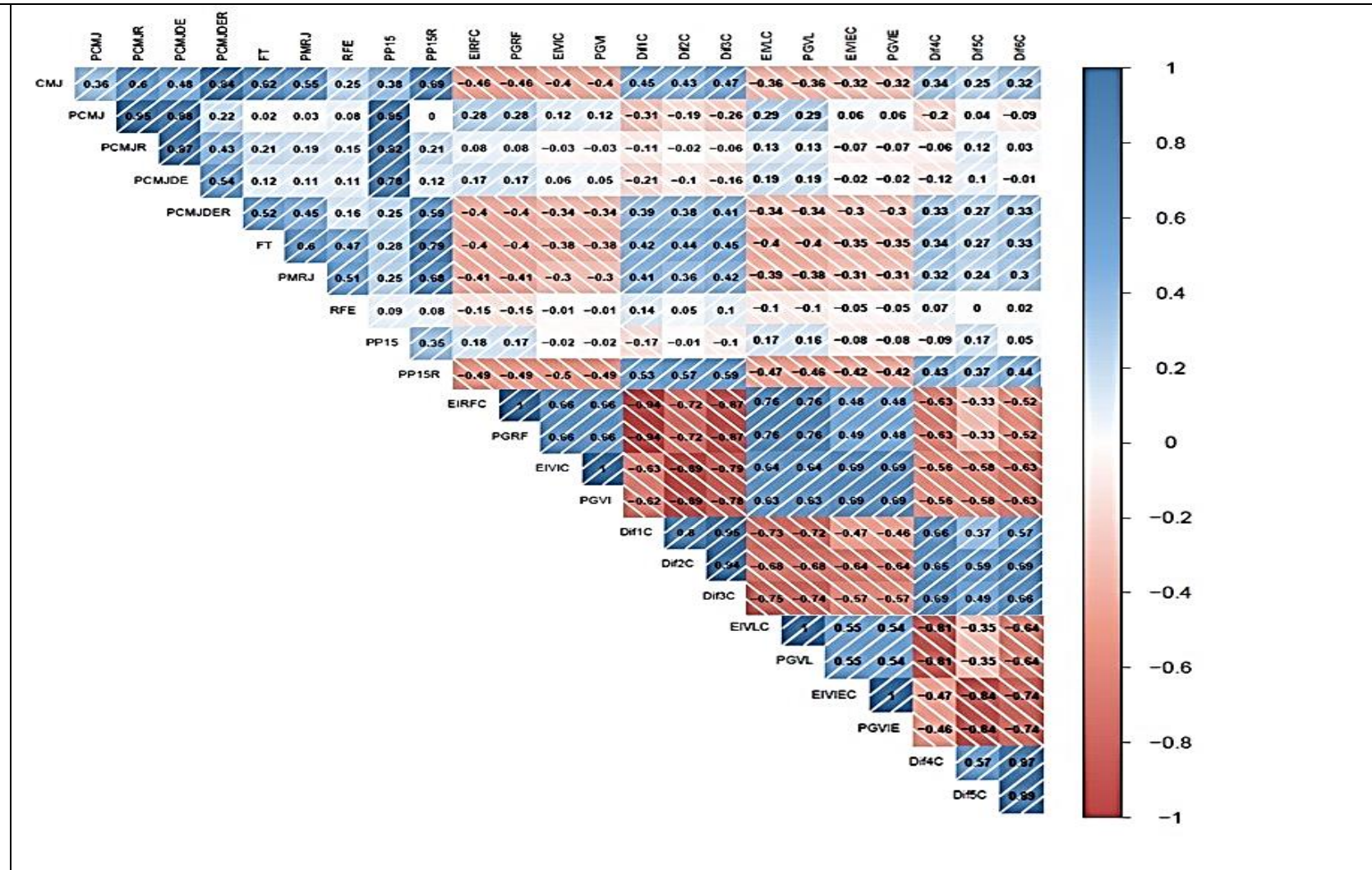
La figura 14 recoge las correlaciones entre la EI y el porcentaje de grasa muscular de los componentes evaluados del cuádriceps en toda la muestra, con las diferentes variables del salto vertical. La variable CMJ, presenta valores  $r$  con las variables de EI que oscilan entre -0,32 y -0,46 (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC), y entre 0,25 y 0,47 (Dif1C a Dif6C). Las mejores correlaciones se observan con la PP15R entre -0,42 y -0,50 (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC), y entre 0,37 y 0,59 (Dif1C a Dif6C). El porcentaje de fibras rápidas (FT) se correlaciona significativamente con todas las medidas de eco-intensidad (-0.35 a -0.4 y 0.27 a 0.45).

**Tabla 8.***Estadística descriptiva.*

| Variable        | Significado  | Niñas(n=75) |        | Niños(n=109) |        |
|-----------------|--|-------------|--------|--------------|--------|
|                 |  | Media       | SD     | Media        | SD     |
| <b>Edad</b>     | Edad decimal en años                                     | 9.41        | 0.91   | 8.97         | 1.14   |
| <b>Masa</b>     | Masa corporal (Kg)                                       | 32.33       | 6.37   | 32.27        | 8.61   |
| <b>Est</b>      | Estatura (cm)  | 136.09      | 8.04   | 134.20       | 8.18   |
| <b>IMC</b>      | Índice de masa muscular (Kg/m <sup>2</sup> )             | 17.32       | 2.36   | 17.75        | 3.38   |
| <b>PG</b>       | % de grasa   | 18.21       | 5.71   | 16.24        | 7.11   |
| <b>CMJ</b>      | Altura del salto con contra movimiento (cm)              | 19.94       | 3.18   | 20.33        | 4.28   |
| <b>PCMJ</b>     | Potencia del salto CMJ (w)                               | 608.65      | 347.11 | 626.04       | 440.91 |
| <b>PCMJR</b>    | Potencia del salto CMJ en vatios relativa (w/Kg)         | 17.57       | 8.65   | 17.88        | 10.04  |
| <b>PCMJDE</b>   | Potencia en vatios del CMJ por distancia de empuje       | 602.65      | 190.53 | 592.99       | 168.23 |
| <b>PCMJDE R</b> | Potencia del CMJ por distancia de empuje relativa (w/Kg) | 18.72       | 4.86   | 18.59        | 3.84   |
| <b>%FT</b>      | % de fibras rápidas                                      | 5.15        | 7.90   | 6.21         | 8.64   |
| <b>PMRJ</b>     | Potencia media RJ en 15 segundos (w)                     | 13.14       | 3.10   | 14.96        | 3.48   |
| <b>RFE</b>      | Resistencia a la fuerza explosiva                        | 0.89        | 0.05   | 0.89         | 0.04   |
| <b>PP15</b>     | Potencia pico del mejor salto en 15 segundos (w)         | 141.83      | 29.81  | 148.75       | 37.65  |
| <b>PP15R</b>    | Potencia pico mejor salto en 15 segundos relativo (w/Kg) | 4.44        | 0.70   | 4.69         | 0.86   |
| <b>EIG</b>      | EI grasa región anterior del muslo                       | 142.63      | 7.49   | 146.48       | 9.78   |
| <b>EIRFC</b>    | EI del recto femoral corregida                           | 169.43      | 14.44  | 158.37       | 18.90  |
| <b>PGRF</b>     | % de grasa del recto femoral                             | 20.41       | 1.33   | 19.39        | 1.74   |
| <b>EIVIC</b>    | EI del VI muslo anterior                                 | 152.39      | 15.01  | 143.48       | 15.84  |
| <b>PGVI</b>     | % de grasa del vasto intermedio medido por US            | 22.55       | 1.70   | 21.55        | 1.79   |
| <b>Dif1C</b>    | Diferencia entre EIG y EIRFC                             | -26.80      | 17.55  | -11.88       | 24.24  |
| <b>Dif2C</b>    | Diferencia entre EIG y EIVIC                             | -9.76       | 17.25  | 3.00         | 19.75  |
| <b>Dif3C</b>    | Diferencia entre EIG y media de EIRFC y EIVIC            | -18.28      | 16.33  | -4.44        | 20.83  |
| <b>EIGL</b>     | EI grasa región lateral del muslo                        | 136.93      | 7.26   | 135.40       | 11.41  |
| <b>EIVLC</b>    | EI del vasto lateral corregida                           | 171.65      | 12.93  | 163.53       | 17.46  |
| <b>PGVL</b>     | % de grasa del vasto lateral medido por US               | 24.76       | 1.46   | 23.84        | 1.98   |
| <b>EIVIEC</b>   | EI del VI corregida en muslo externo                     | 150.77      | 14.58  | 139.31       | 17.72  |
| <b>PGVIE</b>    | % de grasa del VI Medido por US región externa           | 22.38       | 1.66   | 21.08        | 2.01   |
| <b>Dif4C</b>    | Diferencia entre EIG y EI del VL                         | -34.73      | 12.27  | -28.13       | 16.89  |
| <b>Dif5C</b>    | Diferencia entre EIG y EIVI región externa               | -13.85      | 15.34  | -3.91        | 18.89  |
| <b>Dif6C</b>    | Diferencia entre EIG y media de EIVL y VI región externa | -24.29      | 12.09  | -16.02       | 16.09  |

Figura 14.

Correlaciones generales. EI y variables del salto vertical.



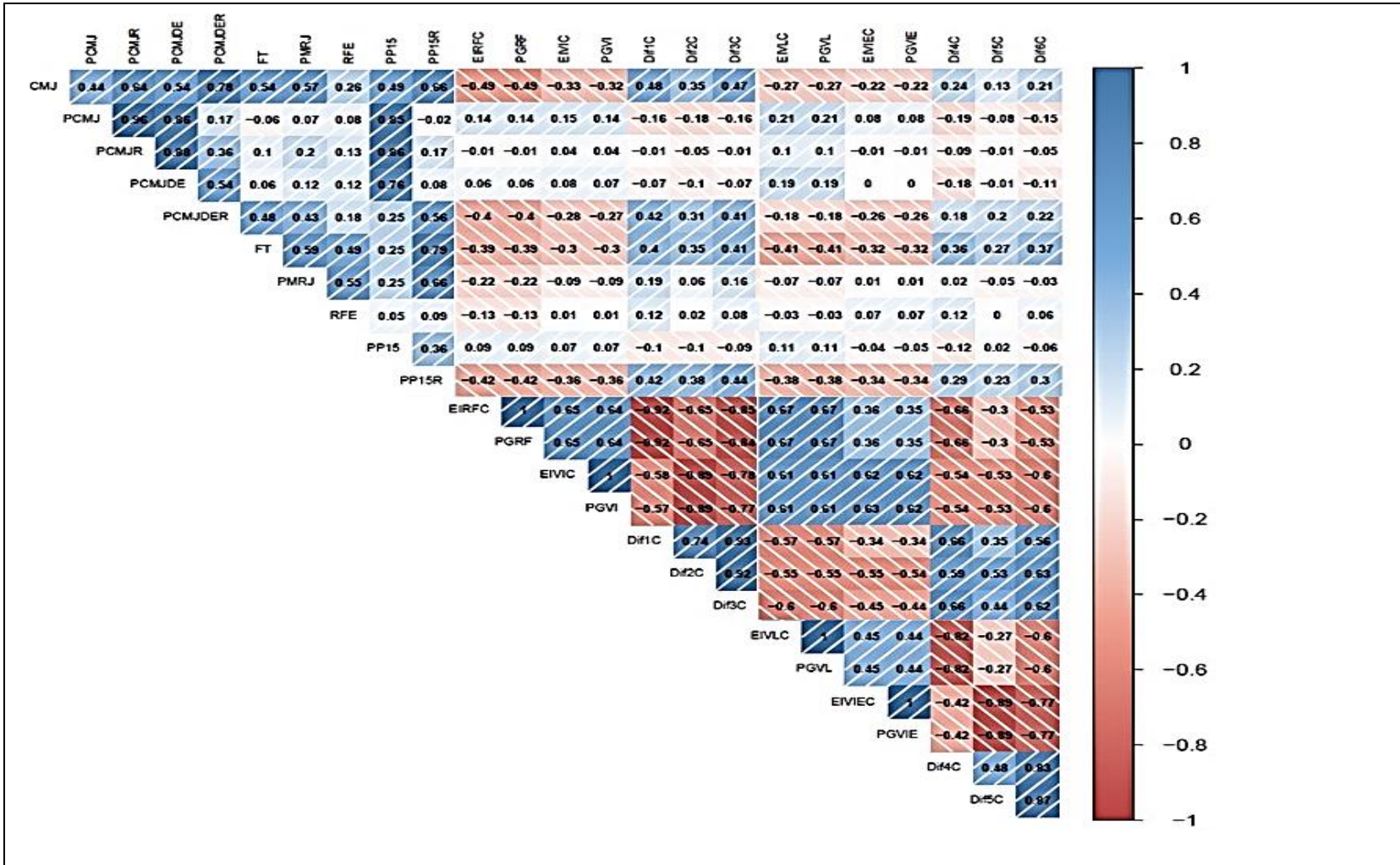


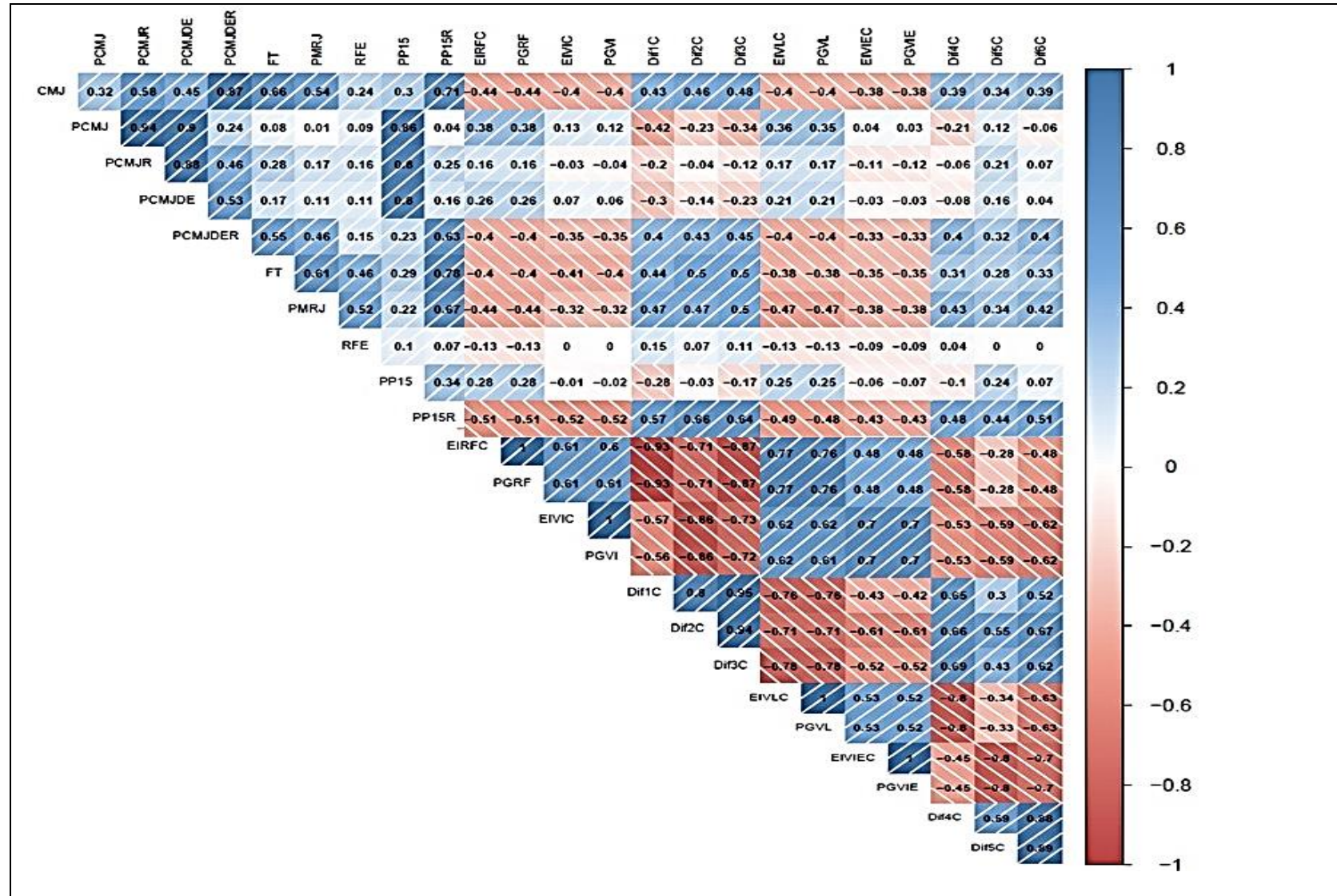
La figura 15 recoge las correlaciones entre la EI y el porcentaje de grasa muscular de los componentes evaluados del cuádriceps solo en niñas, con las diferentes variables del salto vertical. La variable CMJ, presenta valores  $r$  con las variables de EI que oscilan entre -0,22 y -0,49 (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC), y entre 0,35 y 0,48 (Dif1C a Dif3C). Las mejores correlaciones se observan entre el CMJ (-0,49) con la EIRFC, PGRF. El porcentaje de fibras rápidas (FT) se correlaciona significativamente con todas las medidas de eco-intensidad (-0.3 a -0.41 y 0.27 a 0.41).

La figura 16 recoge las correlaciones entre la EI y el porcentaje de grasa muscular de los componentes evaluados del cuádriceps solo en niños, con las diferentes variables del salto vertical. La variable CMJ, presenta valores  $r$  con las variables de EI que oscilan entre -0,38 y -0,44 (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC), y entre 0,34 y 0,48 (Dif1C a Dif6C). Las mejores correlaciones se observan con la PP15R entre -0,43 y -0,52 (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC), y entre 0,44 y 0,66 (Dif1C a Dif6C). El porcentaje de fibras rápidas (FT) se correlaciona significativamente con todas las medidas de eco-intensidad (-0.35 a -0.41 y 0.28 a 0.5).

**Figura 15.**

### Correlaciones en niñas. EI y variables del salto vertical



**Figura 16.***Correlaciones en niños. EI y variables del salto vertical*

## 5.5 Modelo predictivo del porcentaje de fibras rápidas (%FT)

Se elaboró un modelo de regresión lineal múltiple para predecir el porcentaje de fibras rápidas (%FT) utilizando como predictores las variables de eco-intensidades y las variables de espesor muscular y de ángulo de pennación. De igual manera, se evaluó la validación de los supuestos de los residuos para controlar la heterocedasticidad, la multicolinealidad y la especificación del modelo predictivo.

### 5.5.1 Modelo matemático: modelo lineal múltiple para evaluar el efecto del porcentaje de fibra (%FT)

$Y_j = b_0 + b_1x_{1j} + b_2x_{2j} + \dots + b_kx_{kj} + u_j$ , donde **y** es la variable endógena, **x** las variables exógenas, **u** los residuos y **b** los coeficientes estimados del efecto marginal entre cada **x** e **y**.

Las variables candidatas para el modelo se eligieron de acuerdo con el análisis bivariado por medio de los coeficientes de correlaciones Rho de Spearman (Figura 14). Las variables predictoras (exógenas) elegidas para las eco-intensidades fueron: EIRFC, PGRF, Dif1C, Dif2C, EIVLC, PGVL, Dif4C, Dif6C. Las variables predictoras (exógenas) elegidas para el espesor muscular y ángulo de pennación fueron: EG, ERF, EVI, ET, REE, REGET, RETM, EGL, EVL, EVIE, ETL, REVLRF, ARF, AVL.

Al aplicar el sistema de selección de variables de iteraciones *stepwise backward* o pasos “*hacia detrás*”, que consiste en ingresar todas las variables candidatas y el sistema va retirando aquellas variables que pierden la significación elegida ( $p < 0,10$ ), se eligieron finalmente las siguientes variables: EIRFC, PGRF, Dif2C, EG, EVIE, ARF (Tabla 9). Para

evitar colinealidad entre las variables explicativas EIRFC y PGRF se eliminó del modelo final la variable PGRF. Con base a lo anterior, el modelo matemático final es el siguiente:

$$FT(\%) = 5,4514 - 0,5765*EG + 0,3803*ARF + 0,1052*Dif2C$$

### 5.5.2 Interpretación del modelo final:

Si el resto de las variables se mantienen constantes, por cada unidad que aumente el predictor en cuestión, la variable % de fibra rápidas varía en promedio tantas unidades como indica la pendiente. En el caso de la variable predictora EG, si el resto de las variables no varían, por cada unidad de EG que aumente el individuo, el porcentaje de fibras rápidas disminuye en promedio 0,5765 unidades. En el caso de la variable predictora ARF, si el resto de las variables no varían, por cada unidad de ARF que aumente el individuo, el porcentaje de fibras rápidas se incrementa en promedio 0,3803 unidades. Y finalmente, en el caso de la variable predictora Dif2C, si el resto de las variables no varían, por cada unidad de Dif2C que aumente el individuo, el porcentaje de fibras rápidas se incrementa en promedio 0,1052 unidades (Tabla 9).

**Tabla 9.**

*Análisis de regresión lineal múltiple con estimadores robustos. Variables explicativas del % FT*

| % FT             | Coeficiente | Error estándar | Valor p | I.C. 95%          |
|------------------|-------------|----------------|---------|-------------------|
| <b>EG</b>        | -0,5765     | 0,1995         | 0,004   | -0,9702 a -0,1829 |
| <b>ARF</b>       | 0,3803      | 0,2125         | 0,075   | -0, 0389 a 0,7995 |
| <b>Dif2C</b>     | 0,1052      | 0,0379         | 0,006   | 0,0303 a 0,1799   |
| <b>Constante</b> | 5,4514      | 3,0105         | 0,072   | -0,4890 a 11,3918 |

EG: Espesor del tejido celular subcutáneo medido por ecografía; ARF: Ángulo de penneación del recto femoral;

Dif2C: Diferencia entre eco-intensidad grasa y eco-intensidad del vasto intermedio corregidas

### 5.5.3 Validación de los residuos de los modelos

Para validar la predicción del modelo con los variables regresoras elegidas, se realizó la validación de los supuestos de los residuos, donde se cumplieron los supuestos de homogeneidad, de no multicolinealidad, especificación y de aleatoriedad (Tabla 10). Por lo anterior, las variables explicativas que mejor predicen el efecto del porcentaje en fibra rápida (%FT) fueron EG, ARF y Dif2C, sin presentar variables omitidas. De acuerdo con la prueba F de significación en el análisis de regresión ( $p < 0,0001$ ), el modelo se ajusta mejor con las variables explicativas que solo con el intercepto; se halló un ajuste adecuado del modelo ( $R^2_{\text{ajustado}} = 0,2503$ ), donde un cuarto del porcentaje de fibra rápidas es explicado por este conjunto de variables predictoras.

**Tabla 10.**

*Validación de los residuales del modelo de regresión lineal múltiple porcentaje de fibra (%FT)*

|            | Heterocedasticidad | Multicolinealidad* | Especificación | Aleatoriedad |
|------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------|
| <b>%FT</b> | 0,1507             | 1,68               | 0,1943         | 0,5500       |

\*Ninguna variable predictora presentó un VIF > 2.1

## **6. Discusión**

### **6.1 Correlaciones entre medidas ecográficas del cuádriceps y el salto vertical**

Los resultados muestran como el espesor muscular del recto femoral y del vasto intermedio, medidos individualmente, tienen una correlación significativa con la potencia del salto vertical tipo CMJ; mientras que la eco-intensidad del recto femoral y la de ambos componentes evaluados del cuádriceps (recto femoral y vasto intermedio) presentan una correlación significativa con el porcentaje de fibras FT medido por saltos continuos. Esto quiere decir que el E, ya demostrado en estudios con niños (Eisenmann, Wickel, Welk, & Blair, 2005; Jacobs et al., 2013; Stock et al., 2017) y, de manera novedosa, la EI del músculo cuádriceps evaluados por ecografía, podrían estar relacionados con la potencia muscular medida a través del salto vertical en niños escolares. Esto permitiría establecer una herramienta, no invasiva, de detección de la capacidad que tiene un sujeto de esas edades de realizar de manera óptima la coordinación intra e intermuscular. Esta adecuada forma de relacionar el sistema nervioso con el muscular, probado en sujetos adultos entrenados, pero no en edad escolar, podría ser un indicador del nivel de forma física del sujeto y, por lo tanto, permitir una individualización del entrenamiento, así como, la detección del talento deportivo. Es la primera vez que se obtienen estos resultados en una muestra con las características y edad como la analizada en este trabajo. Existen estudios que encontraron esta relación positiva entre el espesor muscular y diferentes pruebas de condición física pero, básicamente, fueron realizados en adultos (Akazawa, Okawa, Tamura, & Moriyama, 2016; Cadore et al., 2012; Fukumoto et al., 2012; Jacobs et al., 2013; Menon et al., 2012; Strasser et al., 2013; Wilhelm et al., 2014). Algunas de las relaciones encontradas a este respecto fueron: el espesor del músculo cuádriceps fue asociado con varios parámetros de desempeño neuromuscular, y cardiorrespiratorio en mayores de una edad media de 64 años. La fuerza muscular fue evaluada

por dinamometría isométrica, encontrando una correlación significativa con el espesor muscular ( $r=0.44$  a  $r=0.62$ ) (Cadore et al., 2012). De los pocos estudios realizados en niños, Jacobs et al. (2013) encontró relación entre el espesor muscular y la fuerza muscular (edad: 3.9 a 15.2 años) pero ninguna relación entre la EI y la fuerza muscular (Jacobs et al., 2013).

En este estudio se ha hallado una correlación significativa entre la EI y el %FT, asumiendo la EI de la grasa subcutánea como medida de control interno, de tal manera que, de ésta se reste el valor de la EI del músculo. Por primera vez se demuestra una relación entre la EI, como criterio de evaluación de la calidad muscular, y el porcentaje de fibras rápidas de dos componentes musculares del cuádriceps en niños en edad escolar. Por lo tanto, estos resultados difieren de los hallados por Mota et al (2017), en una población con edad cercana a la evaluada en este trabajo. Ellos no encontraron relación entre la EI y la fuerza muscular relativa a la masa magra del cuádriceps en niños entre 11 y 13 años. La EI no se modificó ni por el entrenamiento ni por la maduración (Mota et al., 2017). Es probable que esa falta de relación sea producto de comparar solo el valor de la EI muscular sin tener una medida de control como la EI grasa. En nuestro estudio tampoco se encontró relación entre el valor de la EI, la potencia anaeróbica y el %FT. Sin embargo, cuando la controlamos por la EI grasa (Dif 1, Dif 3) como medida de comparación, si se encontró relación. Esto indica que usando la EI grasa como referencia interna se obtiene un valor de la EI del músculo más fidedigno de su contenido graso. A mayor diferencia, menor contenido graso muscular. Por el contrario, sí existen múltiples estudios que encuentran correlación entre la EI y algunas capacidades físicas, pero solo en adultos. Wilhelm et al. (2014) evaluó ecográficamente el músculo cuádriceps de cincuenta hombres adultos (edad:  $66.1 \pm 4.5$  años), encontrando una relación de la EI del musculo cuádriceps con la fuerza



máxima, la potencia y la capacidad funcional de hombres mayores ( $-0.285$  a  $-0.746$ ). La mayor correlación fue encontrada entre la EI y la potencia pico del salto CMJ (Wilhelm et al., 2014).

En nuestro estudio se han obtenido correlaciones entre la EI de cada músculo con el porcentaje de fibras rápidas al relacionar la diferencia de los valores de EI de cada músculo, y el promedio de ambos músculos con la EI del tejido graso subcutáneo ( $0.3009$  a  $0.3555$ ;  $P < 0.05$ ). Además de una asociación entre la dif2 ( $p = 0.02661$ ) y la edad, lo que realza la idea de que en niños escolares es posible evaluar la calidad del músculo y la proporción de fibras rápidas a través de la EI. A menor EI, menor contenido de grasa intramuscular. En niños hay que buscar la explicación en parámetros como la diferenciación del tipo de fibra, que ocurre relativamente temprano, de tal forma que, a los 6 años de edad, el perfil histoquímico del músculo esquelético es similar al de un adulto joven (Zanconato et al., 1993).

En concordancia con lo mencionado previamente, en este estudio obtenemos una correlación significativa entre la potencia del salto CMJ, y la edad ( $R = 0.5437$ , v.p. =  $< 0.001$ ), al igual que entre los espesores musculares medidos, y la edad ( $r = 0.2976$  a  $0.4058$ , v.p. =  $0.05$ ). La causa que interrelaciona el espesor con la potencia del salto y la edad podría tener su explicación en el mayor espesor muscular, al menos en parte, y en el porcentaje de fibras FT, dado que son las fibras rápidas las que tienen mayor potencial de hipertrofia. No obstante, esto puede explicar el rendimiento, pero no los mecanismos. Para ello sería necesario utilizar métodos invasivos que no son éticamente justificados (McCormack et al., 2014). Es por esto, que la ecografía podría surgir como una herramienta útil para evaluar la calidad del músculo producto de las variaciones en el contenido intramuscular de grasa y de glucógeno, y con éstas, el tipo de fibra en niños en edad escolar.

## 6.2 Diferencias en salto vertical y medidas ecográficas del cuádriceps

La potencia anaeróbica mejora significativamente entre los 6 y los 12 años de edad cuando los niveles de testosterona permanecen sin cambios (Armstrong et al., 1997). Una forma de evaluar el metabolismo anaeróbico es a través del salto (Gomez-Bruton et al., 2019). En este sentido, O'Brien y colaboradores encontraron una alta correlación en un movimiento multiarticular, con otros músculos implicados, entre la potencia del salto y el volumen muscular del cuádriceps femoral (O'Brien et al., 2009). En este trabajo se ha evaluado la potencia del salto por medio del CMJ, el cual mejoró significativamente en uno de los tres grupos de estudio. Los grupos G8 y G9 arrojaron una diferencia que no alcanzó a ser estadísticamente significativa, mientras el grupo 7 sí mostró diferencias significativas, probablemente por ser el grupo de mayor número de participantes.

Existen pocos trabajos realizados en contextos similares, que permitan comparar lo obtenido en este estudio. Un estudio realizado en Turquía en niños entre 0 y 12 años reportó valores normales en niños, incluyendo las edades de la población aquí evaluadas, entre 7-8, 8-9 y 9-10 años de edad (Özdemir et al., 1995). En este estudio, el espesor muscular fue prácticamente igual en el grupo 7-8 años con respecto al grupo 8-9 años ( $19.7 \pm 3.5$  mm y  $19.7 \pm 3.4$  mm respectivamente), con la única diferencia de que la población evaluada eran niños sanos no deportistas. Al comparar el espesor muscular con los resultados de nuestro estudio, para estos mismos grupos de edad, se ve como hubo diferencias significativas en los tres grupos. En este mismo sentido, el ángulo de pennación tuvo una diferencia significativa solo en el G9. El aumento del ángulo de pennación está relacionado con el aumento del espesor muscular, que solo en este grupo fue de una magnitud suficiente como para modificarlo. No es posible comparar las medias porque las medidas fueron tomadas

en diferentes puntos anatómicos, pero el incremento que se obtiene en los tres grupos parece sugerir un efecto positivo del entrenamiento de fútbol aplicado a los participantes.

En un estudio longitudinal, Jacobs et al. (2013) evaluaron varios músculos de 25 niños sanos entre 0 y 12 años con ultrasonido, incluido el cuádriceps, con estos tres parámetros: espesor muscular, eco-intensidad y fuerza muscular. En él se concluye que estos parámetros fueron influenciados por cambios en peso, estatura y edad pero esta influencia solo tuvo cambios clínicamente relevantes en espesor muscular y fuerza muscular, porque la eco-intensidad fue mínima en niños sanos (Jacobs et al., 2013). En el estudio presentado hubo cambios en el espesor muscular al igual que en el salto vertical, pero a diferencia del estudio mencionado, hubo cambios significativos en la EI en el grupo G9, el cual corresponde al paso de 9 a 10 años. La eco-intensidad se considera una forma de evaluar la calidad del músculo. Una menor eco-intensidad se relaciona con un músculo con menor contenido graso y mayor contenido de glucógeno y de proteínas contráctiles (Caresio et al., 2015; Young et al., 2015). Existen varios estudios que consideran que la eco-intensidad en niños no cambia con el crecimiento normal, pero estos se han realizado en niños sanos no deportistas (Fukunaga et al., 2014; Ng, Connolly, & Zaidman, 2015). Los resultados aquí obtenidos ponen de manifiesto la posibilidad de que un entrenamiento regular, que implique una orientación específica, pueda generar cambios significativos en la calidad del músculo, y que éstos puedan comprobarse a través de la evaluación ecográfica. De este modo, el entrenamiento además de producir mejoras en la potencia muscular, a través de la hipertrofia y la maduración nerviosa, podría incidir en la calidad del músculo, en una población en la que aún no se ha manifestado el disparo de producción de hormonas androgénicas, permitiendo que pudiese ser evaluado por US.

### **6.3 Diferencias ecográficas del cuádriceps en diferentes modalidades deportivas.**

#### **6.3.1 Eco-intensidad**

En el presente estudio se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la EI de los niños que evalúa su calidad en los músculos recto femoral y vasto intermedio (EIRF, PGRF, Dif1, Dif3C,) del grupo Fútbol, respecto a los otros dos grupos. Estas diferencias se presentan en las medidas que incluyen el recto femoral. Múltiples estudios, que no tienen como variable diferenciadora la forma de iniciación deportiva, han demostrado que la EI en los niños no cambia con el crecimiento normal (Ng et al., 2015). Un estudio realizado por Jacobs et al. (2013) en 25 niños entre 0 y 12 años de edad concluyó que la eco-intensidad no estaba influenciada por el peso, la estatura o la edad en niños sanos porque sus cambios eran mínimos (Jacobs et al., 2013). Otro estudio indicó que, en el nivel de escala de grises para evaluar la EI en niños escolares sanos, no se observaron cambios con la edad porque no hay depósitos anormales de grasa y/o tejido conectivo (Rutkove et al., 2014). En la medida en que crece el músculo, se empezará a visualizar ecográficamente las diferentes membranas musculares, lo que puede causar un aumento de la EI (Jacobs et al., 2013; Scholten et al., 2003), pero la fibra muscular aumenta su espesor disminuyendo la contribución del tejido fibroso aumentando el muscular, lo que disminuye la EI. En nuestro caso, la explicación de la disminución de la EI podría deberse a un aumento de la fibra muscular, motivado por la diferente forma de iniciarse en la práctica deportiva (regularidad de la práctica, orientación de los contenidos de entrenamiento, etc.). Según los resultados obtenidos en este estudio, la ecografía cuantitativa podría medir, de una manera adecuada, los cambios en el tamaño del músculo, especialmente el espesor muscular, cuya correlación con el área de sección transversa es excelente. Sin embargo, más importante

aún, es observar como la imagen ecográfica permite valorar los cambios en la EI del músculo, como medida de la calidad muscular, y como ambas tienen relación con diferentes pruebas de condición física en poblaciones de diferentes edades (Kleinberg, Ryan, Tweedell, Barnette, & Wagoner, 2016; Stock et al., 2017). La EI es modificada por el entrenamiento en personas adultas (Mota et al., 2017), y el reemplazo graso constituye la principal causa de incremento de la EI del músculo en ellos (Reimers, 1993). Los resultados de otro estudio indican que, para niños adolescentes, la calidad muscular de la extremidad inferior no es significativamente influenciada por la maduración (Fukunaga et al., 2014). Un estudio realizado en hombres en edades entre 19 y 68 años, comparando la grasa muscular medida por US con indicadores de salud y actividad física, concluyó que la grasa intramuscular estimada por US fue inversamente asociada con actividad física (Young et al., 2016). En nuestro estudio, las diferencias encontradas en los grupos evaluados evidencian como existen una relación entre la cantidad de estímulo físico y la generación de cambios en la calidad del músculo. El principal es la disminución de la EI que, hasta el momento, no tiene una clara explicación en los niños. Una posible explicación sería una disminución de la grasa intramuscular medida por ecografía con un aumento del tamaño de la fibra muscular. Basado en estos resultados, sería posible pensar en la ecografía como una herramienta para medir los efectos del ejercicio que realiza el niño en términos de estímulo adecuado para generar cambios musculares medibles. La diferencia estadística en estos componentes del cuádriceps puede tener su explicación en la especialización del entrenamiento llevado a cabo por el grupo “fútbol”, el cuál realizó más cantidad de ejercicios específicos del gesto del pateo, con una mayor orientación al trabajo físico de los grupos musculares evaluados, y en particular, al recto femoral. Por el contrario, esto no ocurrió con el grupo de “multideportiva”, cuya frecuencia de práctica fue menor, al igual que su orientación de los ejercicios (enfocados más al trabajo coordinativo y de competencia

motriz, y menos al de capacidades condicionales como la fuerza). Soporta este hecho el que no haya diferencias significativas entre el grupo “multideportiva” y el grupo “ninguno”, en ambos géneros. Cabe destacar la resta de la EI grasa menos la EI del músculo, medidas en nuestro estudio con las variables Dif1 y Dif3, que mostraron diferencias estadísticamente significativas. Por tener una referencia interna del mismo sujeto, la EI del tejido graso subcutáneo, permite compararse con otros equipos de ecografía, y sugiere una forma de evaluar de mejor manera los cambios que genera en el escolar la actividad física. Esto podría ser una herramienta útil para determinar si el tipo de ejercicio físico que realiza un niño es suficiente para generar cambios en su tejido muscular, tejido protagonista no solo en el movimiento, sino en aspectos metabólicos.

### 6.3.2 **Espesor graso y muscular**

El espesor graso medido tanto en región anterior, como en región lateral fue diferente y estadísticamente significativo al comparar los tres grupos en los niños. Los valores más bajos se presentaron en el grupo “fútbol”, mientras que los valores más altos, se presentaron en el grupo “ninguno”, el cual no realizaba práctica física con regularidad. Estos resultados se corresponden con el porcentaje de grasa medido por pliegues cutáneos (tabla 5). Al evaluar la diferencia entre los grupos “multideportiva” y “ninguno”, las diferencias no son significativas, ni en niños ni en niñas. Estos resultados sugieren que los componentes específicos del deporte, y en concreto, la orientación del contenido de los ejercicios, podrían ser suficientes en intensidad, duración y frecuencia, para mantener los valores de grasa por debajo de los valores que tienen los niños que hacen menos ejercicio. Esto podría ayudar a establecer indicadores de referencia, que además, irían en consonancia

con algunas de las recomendaciones encontradas en la bibliografía, sobre las características del ejercicio en los menores (WHO, 2010).

El espesor del vasto intermedio medido tanto en región anterior como externa (EVI, EVIE) fue significativamente diferente entre los tres grupos, siendo menor en los niños practicantes de fútbol. Al comparar el espesor muscular no hubo diferencia entre los grupos “multideportiva” y “ninguno” en niños, mientras que, en niñas, solo hubo diferencia significativa en el ERF. El espesor muscular y el diámetro de la fibra muscular humana, en particular, se incrementa con la edad (Jacobs et al., 2013; Kanehisa et al., 1995; Lin, Brown, & Walsh, 1994; Özdemir et al., 1995), lo que se corresponde con los resultados de nuestro estudio, dado que la media de la edad de los grupos es menor en el grupo “fútbol”, y mayor en el grupo “ninguno”, tanto en niños como en niñas (Niños: “fútbol”:  $8.9 \pm 1.16$ ; “multideportiva”:  $9.2 \pm 1.04$ ; “ninguno”:  $9.8 \pm 0.55$ . Niñas: “multideportiva”:  $9.1 \pm 1.07$ ; “ninguno”:  $9.8 \pm 0.55$ ).

### 6.3.3 Ángulo de penneación

El ángulo de penneación fue estadísticamente significativo en los dos músculos medidos, recto femoral y vasto lateral, al comparar los tres grupos en niños. Al comprar los grupos “multideportiva” y “ninguno” hubo diferencias significativas en el ARF en niños y en el AVL en niñas. Todas estas diferencias fueron a expensas de un ángulo de penneación mayor en el grupo “fútbol”, al comparar los tres grupos, y del grupo “multideportiva” al compararlo con el grupo “ninguno”. Estos resultados se corresponden con el concepto de que un ángulo de penneación mayor está relacionado con un músculo más fuerte (Alegre et al., 2006; Moreau, Simpson, Teefey, & Damiano, 2010). En nuestro caso, las diferencias en el ángulo de penneación podrían venir

determinadas por una mayor frecuencia de estímulo deportivo (más tiempo de práctica a la semana), factor que fue diferente en función del tipo de iniciación deportiva de la muestra evaluada. A pesar de que existen similitudes en el uso del músculo del cuádriceps en las diferentes modalidades deportivas practicadas por los sujetos evaluados, como el salto, la carrera, o los cambios de dirección, la frecuencia con la que se utiliza el gesto del pateo en fútbol, hace que los practicantes de esta modalidad deportiva lo activen más veces, durante una misma sesión de entrenamiento, ya que este movimiento estimula de forma específica al recto femoral (Cerrah et al., 2011; Robertson & Mosher, 1985). De esta forma, cumpliría con uno de los principios de adaptación al entrenamiento, el principio de especificidad (Billat, 2002), lo que explicaría los resultados obtenidos. No obstante, hay que tener en cuenta que posiblemente estos resultados vengan determinados por la mayor frecuencia y duración del entrenamiento en el grupo fútbol, respecto a los otros dos grupos.

#### **6.4 Correlaciones entre EI muscular y salto vertical**

La ecografía musculo-esquelética es un campo joven pero prometedor en la población en general, y en los niños en edad escolar en particular, cuando se trata de evaluar aspectos fisiológicos del tejido muscular. En este trabajo se han evaluado tres componentes del cuádriceps, dos por ser los más utilizados por la comunidad científica (el recto femoral y el vasto lateral); y el tercero (el vasto intermedio) porque puede ser evaluado por ambos cortes, tanto en el anterior como en el lateral. La razón que motiva el uso de pocos puntos en la toma de imagen es encontrar una manera sencilla de evaluar la calidad del músculo en los niños, y a su vez, que sirva de herramienta para valorar los cambios que se presentan en los menores, producto de la práctica de actividad física. A esto contribuye algunos de los resultados presentados en este trabajo, como el hecho de que la EI del vasto intermedio



tuviese unas correlaciones similares tanto en la toma anterior, como en la lateral, con las variables del salto vertical, lo que demuestra un bajo nivel de variabilidad en las medidas realizadas por ecografía, a pesar de realizarse en diferentes puntos anatómicos del músculo vasto intermedio. Esto va en la línea de lo encontrado en otros estudios consultados. Así, Santos et al. (2017) al evaluar la reproducibilidad de la evaluación ecográfica de los cuatro componentes del cuádriceps, demostró una confiabilidad moderada a muy alta de las medidas de EI, donde la fiabilidad mejoraba con la medición en corte transversal (Santos & Armada-da-Silva, 2017). De la misma forma, Jenkins et al. (2015) concluyeron en un estudio sobre la evaluación ecográfica del bíceps braquial, que la imagen transversal simple de este músculo para la cuantificación del espesor muscular y la EI es comparable con una ecografía panorámica en confiabilidad, siendo una medida técnica más simple de realizar (Jenkins et al., 2015).

La mejor correlación se evidenció, en ambos géneros, entre la EI (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC, Dif1C, Dif2C, Dif3C, Dif4C, Dif5C, Dif6C) con la potencia pico del RJ15 (PP15R) cuando el valor es relativo a la masa corporal, siendo un poco mejores en los niños que en las niñas. Los niños y las niñas tienen la misma cantidad de masa grasa en valores absolutos durante estos años, pero las niñas tienen mayor masa grasa relativa (% Grasa) debido a la menor cantidad de masa magra comparado con los niños. A la edad de 5 años la grasa relativa es 1% mayor en las niñas, y es 6% más a la edad de 10 años con respecto a los niños (Keller, 2008), lo que puede explicar, al menos parcialmente, las diferencias encontradas. Esta diferencia también se explica, en parte, porque la potencia de salto fue mayor en niños al compararlo con las niñas en términos absolutos, aunque se vuelven similares al observar los valores relativos a la masa corporal. Estos resultados y su posible explicación van en la línea de los aportados por Sahrom et al. (2014), quienes compararon ambos géneros en edad pre-púber (Sahrom, Cronin, & Harris,

2014). Ellos encontraron una diferencia en el CMJ en pre-púberes del 7% a favor de los niños, pero una potencia concéntrica media relativa al peso corporal similar en ambos géneros.

En el estudio que aquí se presenta, solo se ha considerado la EI como medida ecográfica cuantitativa. No se ha tenido en cuenta el espesor muscular porque en las edades objeto de estudio no existen diferencias significativas entre niñas y niños. En estudios realizados por Kanehisa (1995), Welsman (1997) y Özdemir(1995) no se encontraron diferencias en el área de sección transversa de los músculos evaluados en tres estudios diferentes, con una muestra donde se incluían grupos de edad similar al aquí presentado (Kanehisa et al., 1995; Özdemir et al., 1995; Welsman et al., 1997). Un primer caso, entre dorsi-flexores y planti-flexores; un segundo caso, realizado en Turquía, en el cuádriceps en 500 niños y niñas sanas; y un tercer estudio, que evaluó el volumen muscular del muslo de niños y niñas por RM. Siguiendo esta línea de trabajo, se ha realizado el análisis estadístico incluyendo ambos sexos. De igual manera, se analizó cada subgrupo de niños y de niñas independientemente. Aquí solo se han analizado las medidas inherentes a la EI que define la calidad del músculo, sin considerar el tamaño de éste. En adultos, al comparar la EI con la medición del músculo por AST o por espesor muscular se observa que la pérdida de tejido contráctil muscular con el envejecimiento es mayor que la disminución en el tamaño muscular (Fukumoto et al., 2012). También en adultos, la EI mostró significativa correlación con la edad y con el espesor y la fuerza muscular (Fukumoto et al., 2012). La explicación en el adulto de estas correlaciones se basa en que con el aumento de la edad se aumenta la infiltración muscular grasa y fibrosa, lo que genera EI mayor, y por esta misma razón, que los músculos sean menos fuertes. Mientras, en los niños en la

edad estudiada, los resultados podrían ser dados por la disminución de la EI que se explica por un aumento del contenido de glucógeno y/o una disminución del contenido graso intramuscular. La evolución natural de la potencia anaeróbica es el aumento significativo entre los 6 y los 12 años de edad, cuando los niveles de testosterona permanecen sin cambios (Armstrong et al., 1997), corroborado por la altura del salto, el cual se duplica entre los 5 y los 13 años, de forma similar en niños y niñas (Temfemo et al., 2009). Estas evidencias podrían explicar las correlaciones significativas entre la EI y los parámetros derivados de la potencia del salto vertical, tanto en el CMJ como en el RJ15. Estas correlaciones son prácticamente iguales al ser medida la EI en la región anterior del muslo (RF y VI), cuando se evalúan tanto en general como al hacerlo por género. Son levemente menores en las niñas al compararlas con las correlaciones de los niños en el vasto lateral. Es importante también mencionar que las correlaciones mejoraron al realizar la corrección de la EI (EIRFC, EIVIC, EIVLC, EIVIEC, Dif1C...DIF6C) propuesta por Young (Young et al., 2015), al compararlas con las correlaciones sin corrección. Mejoría que también se evidencia en otra investigación realizada en adultos (Stock et al., 2018). La EI corregida tuvo mejores correlaciones que las encontradas en niños preadolescentes ( $12\pm 1$  años) en el estudio realizado por Stock (2017) en el que evaluaron también la relación entre el salto vertical y las medidas ecográficas con corrección de la EI (Stock et al., 2017). En la prueba piloto que realizamos, las correlaciones de la EI, sin corrección (Tabla 2), con medidas del salto vertical, fueron menores a las encontradas con la EI corregida en la investigación principal (Figuras 14-16).

Las correlaciones son negativas al contrastar el valor de la EI del músculo con varias medidas derivadas del salto vertical, pero son positivas al relacionarlas con las diferencias entre la EI grasa y la EI muscular. Estas correlaciones fueron moderadas al relacionar la muestra global, y se mantuvo moderada al evaluar independientemente las niñas y los niños. Esto significa que los

niños y niñas de mejor rendimiento en salto tienen una menor EI, lo que se ha denominado como mejor calidad del músculo. La disminución de la EI al relacionarla con el aumento del salto vertical produce una correlación negativa. Pero, al evaluar las diferencias entre la EI grasa y la muscular (Dif1C...DIF6C), una disminución de la EI muscular, que corresponde con mejor calidad de éste, aumenta la diferencia, lo que implica que al relacionarla con el aumento en el salto vertical produce una correlación positiva. Por lo tanto, una disminución de la EI o un aumento de la diferencia entre la EI de la grasa subcutánea y del músculo tienen la misma interpretación, una mejor calidad muscular. Otros estudios han demostrado estas correlaciones entre el salto vertical y la EI en hombres y mujeres jóvenes, con edad media de 24,3 en hombres y 21,5 en mujeres (Mangine et al., 2014). Esta menor EI está relacionada en adultos mayores con un menor contenido graso. Un estudio realizado de Stock et al. (2017), realizado en niños entre 11 y 14 años, muestra correlaciones similares a las encontradas en nuestro estudio entre la EI y la altura del salto vertical, tanto en el recto femoral como en el vasto lateral (Stock et al., 2017). Pero por ser una edad límite entre la pre y la pubertad, cabe la posibilidad de que hayan evaluado niños que iniciaron su etapa puberal, donde la presencia de testosterona está relacionada positivamente con la fuerza de extensores de pierna en adolescentes (Fukunaga et al., 2014). Además, coincide con el período de torpeza puberal (Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2011), lo que puede sesgar esta relación. Esta menor EI en niños escolares se podría explicar como un mayor contenido de glucógeno, y un menor contenido graso. Este menor contenido graso fue medido en nuestro estudio como porcentaje de grasa muscular (PGRF, PGVI, PGVL, PGVIE) propuesto por Young (2016) (Young et al., 2016), y se

correlaciona significativamente con variables del salto vertical (CMJ, PCMJDER, PMRJ, FT, PPRJ15).

Otro elemento para analizar es que se ha considerado la ganancia de fuerza en el niño primordialmente por razones neurológicas. Un estudio realizado por Behm et al. (2008) concluye que la ganancia de fuerza inducida por el entrenamiento en niños puede ser explicada, en parte, por la hipertrofia muscular, aunque es mayormente explicada por adaptaciones neurológicas, tales como, el incremento de activación de unidades motoras, u otros cambios como la coordinación inter-muscular o el aprendizaje neuromuscular (Behm et al., 2008). En este estudio se ha comprobado que los niños que tienen mayor potencia anaeróbica, evaluado por el salto vertical, podrían tener su explicación en una mejor condición metabólica muscular, con tendencia hacia lo anaeróbico, ya que el contenido de glucógeno que conlleva aumento del contenido de agua es una de las razones, sino la más importante, para explicar la disminución de la EI del músculo. Esto quiere decir, que hay diferencias en la EI muscular entre quienes hacen un mejor salto al compararlos con los de menor resultado. Además, es importante mencionar que el CMJ en pre-púberes también tiene una alta correlación con la densidad mineral ósea en región lumbar y en cadera (Vicente-Rodríguez et al., 2004), lo que confirma la asociación entre la capacidad física, específicamente la potencia muscular medida por el salto vertical y la salud ósea. Lo anterior crea una asociación para explorar entre la calidad muscular medida por la EI y la densidad mineral ósea. El CMJ, y en mayor medida el RJ15, evalúan la capacidad de generar fuerza muscular con un estiramiento previo del musculo. Además evalúan la coordinación intramuscular y el reflejo miotático, elementos que hacen parte de la acción del sistema nervioso (Lloyd et al., 2011). Estos resultados sugieren que aquellos niños con una EI muscular menor, independiente del sexo, realizaron un mejor salto tipo CMJ que incluye una fase excéntrica, lo que implica una mejor

coordinación intramuscular y uso del componente elástico (no evaluado con la EI), y de manera especial, pueden tener unas mejores condiciones metabólicas (puede ser evaluado con la EI), tanto si el esfuerzo implica un solo salto o saltos repetidos durante 15 segundos. Estos resultados pueden contribuir al control del entrenamiento en edades tempranas a través de la evaluación ecográfica de la EI del cuádriceps como un indicador del metabolismo anaeróbico.

### **6.5 Modelo predictivo del porcentaje de fibras rápidas (%FT)**

La biopsia muscular es la prueba “gold estándar” actual para evaluar el % de fibras rápidas pero, por razones éticas, no se usa en niños (Baguet et al., 2011). En orden de importancia está la resonancia magnética, que tiene el inconveniente de su alto costo por lo que, en nuestro medio, se hace difícil de utilizar regularmente, particularmente con el objetivo de medir el porcentaje de fibras rápidas. Como alternativa, el salto vertical es una herramienta para evaluar la potencia muscular, y basado en esto Carmelo Bosco (1980) propuso una fórmula para hallar el porcentaje de fibras rápidas a partir de saltos continuos por 15 segundos tipo CMJ (C. Bosco, 1980; Temfemo et al., 2009). Como resultado de las correlaciones entre medidas ecográficas y el % FT, calculado a partir del método de Bosco, se realizó un modelo de predicción con base en las medidas ecográficas espesor graso (EG), ángulo de pennación del recto femoral (ARF), y la diferencia entre la EI grasa y la EI del vasto intermedio corregida (Dif2C). Si bien con el salto vertical es posible evaluar el desarrollo del niño, porque la altura del salto se incrementa a la par con la edad (Focke et al., 2013), incremento que está relacionado con mejoría en coordinación muscular, la medición ecográfica para predecir el porcentaje de FT permite evaluar la evolución que

sufre el tejido muscular que incide en la mejora de ese salto vertical. Esto quiere decir que, parte del incremento del salto producto de los cambios que sufre el músculo puede medirse de esta manera. En este estudio encontramos cambios en la EI de algunos componentes del cuádriceps en niños en edad escolar que recibió una dirección específica de entrenamiento (Tabla 5). Cambios ecográficos que no se observaron en otros estudios en niños escolares al ser evaluados en su desarrollo normal, sin participar en un proceso de entrenamiento (Jacobs et al., 2013; Scholten et al., 2003). Según la revisión de la literatura realizada, es la primera vez que se propone una fórmula de predicción del % de fibras rápidas en niños en edad escolar a partir de medidas ecográficas. El siguiente es el modelo para predecir % FT propuesto:

$$\% \text{ FT} = 5,4514 - 0,5765 * EG + 0,3803 * ARF + 0,1052 * Dif2C.$$

Una de las ventajas de la fórmula propuesta es que no depende del ecógrafo para su aplicación. Las medidas de EG graso y ARF no cambian según el equipo utilizado. Como la EI sí es distinta entre los diferentes ecógrafos, la Dif2C tiene por sí misma una corrección, porque es el resultado de la EI del tejido graso subcutáneo menos la EI del vasto intermedio, lo que permite aplicarse en diferentes equipos.





## 7. Conclusiones

Tras el análisis de los resultados, y siempre aplicable a muestras de características similares, se puede concluir con las siguientes afirmaciones:

- En niños sanos en edad escolar, el espesor muscular del recto femoral y el vasto intermedio, componentes del cuádriceps, están relacionados con el rendimiento de la potencia anaeróbica medido a través del salto CMJ.
- La evaluación ecográfica del músculo cuádriceps (específicamente recto femoral y vasto intermedio) puede ser una herramienta útil para evaluar la calidad del músculo y el desempeño físico anaeróbico en niños.
- El incremento en el salto vertical en niños en edad escolar que realizan un entrenamiento regular, en una modalidad deportiva como el fútbol, está relacionado con la maduración neurológica y la hipertrofia del músculo cuádriceps. Esto se evidenció por un aumento de los espesores musculares, el aumento del ángulo de pennación, así como, la mejoría en la calidad muscular medida por la eco-intensidad. Todos estos cambios son coincidentes alrededor de los 10 años.
- La orientación de los contenidos en la iniciación deportiva, en niños entre 7 y 10 años, pueden generar diferencias en el músculo cuádriceps, que pueden hacerse evidentes con el uso de la ecográfica muscular cuantitativa. Dichos cambios estarían relacionados con la duración y la frecuencia del estímulo, lo cual puede ser una herramienta útil para los entrenadores a la hora de programar los contenidos de entrenamiento. De esta forma, se puede incidir en una mejora cualitativa del efecto del ejercicio, determinada por la orientación específica del mismo.

- Los resultados obtenidos sugieren que, en una muestra como la estudiada, los escolares que obtienen una mejor capacidad de salto son los que tienen una EI menor, lo que podría ser un indicador de un mayor contenido de glucógeno, y/o un menor contenido de grasa intramuscular.

## **8. Aplicaciones prácticas**

Los cambios generados por la actividad física en el tejido muscular y en particular en el cuádriceps pueden ser evaluados ecográficamente. Su evaluación podría utilizarse como una estrategia de control de los contenidos en tipo, frecuencia y duración de la actividad física que requiere un niño para generar cambios en el tejido muscular.

La utilización de la ecografía muscular como una herramienta de control de la actividad física en niños brinda dos grandes ventajas: su bajo costo comparado con otras modalidades de control y su inocuidad que le permite ser utilizado sin ningún riesgo en ellos.

La evaluación mediante ecografía muscular de la región anterior del muslo puede ayudar a definir el perfil fisiológico del niño, hacia características aeróbicas o anaeróbicas (%FT), lo cual es un elemento por considerar, a la hora de establecer la programación del entrenamiento. También podría ser un indicador para tener en cuenta, a la hora de decidir la actividad deportiva a la que mejor responde la estructura muscular de cada niño.

Posteriores estudios longitudinales que evalúen los cambios ecográficos con diferentes direcciones de entrenamiento permitirán obtener valores adecuados que sirvan de indicadores de control del entrenamiento en esta población escolar.

## **9. Limitaciones**

El estudio presentado cuenta con las dificultades inherentes a la investigación en nuestro medio, generadas principalmente por los pocos recursos económicos y las condiciones sociales de la ciudad. Por esta causa, no fue posible lograr una muestra mayor, representativa de la ciudad, y que incluyera, por ejemplo, niñas en mayor número practicantes de fútbol u otras modalidades deportivas. Además, los resultados vienen determinados por la diferencia en los días de práctica a la semana. Para posteriores estudios sería recomendable poder comparar grupos con una iniciación deportiva diferente, pero con la misma frecuencia de práctica semanal.

Los resultados aquí presentados están limitados por el hecho de que solo se evaluaron tres de los cuatro músculos, debido a que son los que mejores resultados han demostrado. En posteriores trabajos, sería interesante evaluar el vasto interno, para ver su comportamiento y poderlo comparar con los músculos aquí evaluados.



## 10. Referencias bibliográficas

- Abe, T., Loenneke, J. P., & Thiebaud, R. S. (2015). Morphological and functional relationships with ultrasound measured muscle thickness of the lower extremity: a brief review. *Ultrasound*, 23(3), 166–173.
- Acero, R. M., del Olmo, M. F., Doldan, J. V. V., Cepeda, X. L. O., & Guisado, F. A. R. (2001). Fiabilidad de las pruebas de fuerza en salto vertical y velocidad de carrera en escolares de 6 a 8 años. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 1(63), 40–45.
- Acuña, R. C., Narváez, V. D., & Soler, C. M. (2013). Entrenamiento pliométrico sobre el índice elástico en niños no deportistas. *Educación Física y Deporte*, 32(1), 1196.
- Addison, O., Marcus, R. L., Lastayo, P. C., & Ryan, A. S. (2014). Intermuscular fat: A review of the consequences and causes. *International Journal of Endocrinology*, 2014, 34–36.  
<https://doi.org/10.1155/2014/309570>
- Akagi, R., Kanehisa, H., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2008). Establishing a new index of muscle cross-sectional area and its relationship with isometric muscle strength. *J Strength Cond Res*, 22, 82–87.
- Akazawa, N., Okawa, N., Tamura, K., & Moriyama, H. (2016). Relationships between intramuscular fat, muscle strength and gait independence in older women: A cross-sectional study. *Geriatrics and Gerontology International*, 1–6. <https://doi.org/10.1111/ggi.12869>
- Alegre, L., Lara, A., Abián, J., Jiménez, L., Ureña, A., & Aguado, X. (2006). Arquitectura muscular en cuatro grupos de mujeres jóvenes. *Arch Med Deporte*, 23, 265–273.
- Almuzaini, K. S. (2007). Muscle function in Saudi children and adolescents: relationship to anthropometric characteristics during growth. *Pediatr Exerc Sci*, 19(3), 319–333.
- Andersen, L. B., Harro, M., Sardinha, L., Froberg, K., Ekelund, U., Brage, S., & Anderssen, S.

- (2006). Physical activity and clustered cardiovascular risk in children: a cross-sectional study (The European Youth Heart Study). *Lancet*, 368(9532).
- Aouichaoui, C., Trabelsi, Y., Bouhlef, E., Tabka, Z., Dogui, M., Richalet, J. P., & Buvry, A. B. (2012). The relative contributions of anthropometric variables to vertical jumping ability and leg power in Tunisian children. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 777–788.
- Armstrong, N., Barker, A. R., & McManus, A. M. (2015). Muscle metabolism changes with age and maturation: How do they relate to youth sport performance? *Br J Sports Med*, 49(13), 860–864.
- Armstrong, N., Welsman, J. R., & Chia, M. Y. H. (2001). Short term power output in relation to growth and maturation. *British Journal of Sports {...}*, 118–124. Retrieved from <http://bjsm.bmj.com/content/35/2/118.short>
- Armstrong, Welsman, J. R., & Kirby, B. J. (1997). Performance on the Wingate anaerobic test and maturation. *Pediatric Exercise Science*, 9(3), 253–261. <https://doi.org/10.1123/pes.9.3.253>
- Atha, J. (1981). Strengthening muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 9(1), 1–74.
- Baguet, A., Everaert, I., Hespel, P., Petrovic, M., Achten, E., & Derave, W. (2011). A new method for non-invasive estimation of human muscle fiber type composition. *PLoS One*, 6(7).
- Balius, R., & Sala, X. (2007). *Ecografía musculoesquelética (Color)* (Vol. 91). Editorial Paidotribo.
- Baquet, G., Berthoin, S., Dupont, G., Blondel, N., Fabre, C., & Van Praagh, E. (2002). Effects of high intensity intermittent training on peak VO<sub>2</sub> in prepubertal children. *International*

- Journal of Sports Medicine*, 23(6), 439–444.
- Bar-Or, O., Dotan, R., Inbar, O., Rothstein, A., Karlsson\*, J., & Tesch\*, P. (1980). Anaerobic Capacity and Muscle Fiber Type Distribution in Man. *International Journal of Sports Medicine*, 01(02), 82–85. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1034636>
- Barceló, P., & Iriarte, Í. (2015). *Ecografía musculoesquelética. Atlas ilustrado*. Madrid: Médica Panamericana.
- Behm, D. G., Faigenbaum, A. D., Falk, B., & Klentrou, P. (2008). Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(3), 547–561. <https://doi.org/10.1139/H08-020>
- Behringer, M., Heede, A. vom, Matthews, M., & Mester, J. (2011). Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 23(2), 186–206.
- Bencke, J., Damsgaard, R., Saekmose, a, Jørgensen, P., Jørgensen, K., & Klausen, K. (2002). Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 years old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, team handball, tennis and swimming. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(3), 171–178. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01128.x>
- Billat, V. (2002). *Fisiología y metodología del entrenamiento. De la teoría a la práctica*. Barcelona. Editorial Paidotribo.
- Booth, F. W., & Thomason, D. B. (1991). Molecular and cellular adaptation of muscle in response to exercise: perspectives of various models. *Physiological Reviews*, 71(2), 541–585.
- Bosco, C. (1980). Sei un grande atleta: vediamo cosa dice l’ergojump. *Pallavolo*, 5, 34–36.

Bosco, Carmelo, & Riu, J. M. P. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco*.

Paidotribo Barcelona.

Cadore, E. L., Izquierdo, M., Conceição, M., Radaelli, R., Pinto, R. S., Baroni, B. M., ... Kruel, L. F. M. (2012). Echo intensity is associated with skeletal muscle power and cardiovascular performance in elderly men. *Experimental Gerontology*, 47(6), 473–478.

<https://doi.org/10.1016/j.exger.2012.04.002>

Cafawelli, E. (1995). Quadriceps muscles thickness and subcutaneous tissue thickness in normal children in turkish population: sonographic evaluation. Ankara: Gazi Medical Journal.

Capodaglio, P., Minetti, A. E., Ferrari-Bardile, A., & Bertone, G. (1998). Ultrasound imaging for monitoring muscle atrophy in rehabilitation patients: A pilot study. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 34(3), 121.

Caresio, C., Molinari, F., Emanuel, G., & Minetto, M. A. (2015). Muscle echo intensity: reliability and conditioning factors. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 35(5), 393–403. <https://doi.org/10.1111/cpf.12175>

Carlson, S. A., Fulton, J. E., Lee, S. M., Maynard, L. M., Brown, D. R., Kohl III, H. W., & Dietz, W. H. (2008). Physical education and academic achievement in elementary school: data from the early childhood longitudinal study. *American Journal of Public Health*, 98(4), 721–727.

Cerrah, A. O., Gungor, E. O., Soylu, A. R., Ertan, H., Lees, A., & Bayrak, C. (2011). Muscular activation patterns during the soccer in-step kick. *Isokinet Exerc Sci*, 19, 181–190.

Chen, S.-R., Lee, Y.-J., Chiu, H.-W., & Jeng, C. (2008). Impact of physical activity on heart rate variability in children with type 1 diabetes. *Child's Nervous System*, 24(6), 741–747.

Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F. (2007). *Fisiología del ejercicio*. Ed. Médica Panamericana.



- Colling-Saltin, A. S. (1980). Skeletal muscle development in the human fetus and during childhood. *Children and Exercise*, 193–207.
- DANE. (2018). Departamento administrativo Nacional de Estadística. Información estratégica. Preguntas y respuestas frecuentes. Bogotá, Colombia. Retrieved April 4, 2018, from <http://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/tramites/transparencia-y-acceso-a-la-informacion-publica/informacion-de-interes/preguntas-y-respuestas-frecuentes>
- De la Cruz-Campos, A., Pestaña-Melero, F. L., Rico-Castro, N., De la Cruz-Campos, J. C., Cueto-Martín, M. B., Carmona-Ruiz, G., & De la Cruz-Márquez, J. C. (2016). Analysis of anaerobic performance and the Body Mass Index measure of adolescents from different areas of Andalusian region (Spain). *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 142, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.09.004>
- Devís, J. D., & Garde, M. A. C. (2002). La promoción de la actividad física relacionada con la salud en el ámbito escolar: Implicaciones y propuestas a partir de un estudio realizado entre adolescentes. *Apunts: Educación Física y Deportes*, (67), 54–63.
- Dew, A. P., & Moreau, N. G. (2012). A Comparison of 2 Techniques for Measuring Rectus Femoris Muscle Thickness in Cerebral Palsy. *Pediatric Physical Therapy*, 24(3), 218–222. <https://doi.org/10.1097/PEP.0b013e31825bcb77>
- Domínguez La Rosa, P., & Espeso Gayte, E. (2003). Bases fisiológicas del entrenamiento de la fuerza con niños y adolescentes. *Rev.Int.Med.Cienc.Act.Fís.Deporte*, 3(9), 61–68. Retrieved from <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista9/artfuerza.pdf>
- Duhagon, P., Falero, P., FARRé, Y., Gambetta, J. C., GUTIÉRREZ, G., KÖNCKE, F., ... PACCHIOTTI, C. (2005). Promoción de la salud cardiovascular en la infancia. *Archivos de Pediatría Del Uruguay*, 76(1), 51–58.

- Eisenmann, J. C., Wickel, E. E., Welk, G. J., & Blair, S. N. (2005). Relationship between adolescent fitness and fatness and cardiovascular disease risk factors in adulthood: the Aerobics Center Longitudinal Study (ACLS). *Am Heart J*, 149.
- Eriksson, B. (1980). Muscle metabolism in children—a review. *Acta Paediatrica*, 69, 20–27.
- Eriksson, B., Karlsson, J., & Saltin, B. (1971). Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediatrica*, 60, 154–157.
- Eriksson, B., & Saltin, O. (1974). Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatrica Belgica*, 28, 257–265.
- Faigenbaum, A. D., Milliken, L. A., Loud, R. L., Burak, B. T., Doherty, C. L., & Westcott, W. L. (2002). Comparison of 1 and 2 days per week of strength training in children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(4), 416–424.
- Faigenbaum, A. D., Westcott, W. L., Loud, R. L., & Long, C. (1999). The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children. *Pediatrics*, 104(1), e5–e5.
- Focke, A., Strutzenberger, G., Jekauc, D., Worth, A., Woll, A., & Schwameder, H. (2013). Effects of age, sex and activity level on counter-movement jump performance in children and adolescents. *European Journal of Sport Science*, 13(5), 518–526.  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2012.756069>
- Fukumoto, Y., Ikezoe, T., Yamada, Y., Tsukagoshi, R., Nakamura, M., Mori, N., ... Fukumoto, Y. (2012). Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1519–1525. Retrieved from <http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/156269/1/s00421-011-2099-5.pdf>

- Fukunaga, T., & Funato, K. (1992). The effects of resistance training on muscle area and strength in prepubescent age. *Ann Physiol Anthropol*, 11, 357–364.
- Fukunaga, Y., Takai, Y., Yoshimoto, T., Fujita, E., Yamamoto, M., & Kanehisa, H. (2014). Effect of maturation on muscle quality of the lower limb muscles in adolescent boys. *Journal of Physiological Anthropology*, 33(1), 30. <https://doi.org/10.1186/1880-6805-33-30>
- Gariod, L., Binzoni, T., Ferretti, G., Le Bas, J. F., Reutenauer, H., & Cerretelli, P. (1994). Standardisation of <sup>31</sup> phosphorus-nuclear magnetic resonance spectroscopy determinations of high energy phosphates in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(2), 107–110.
- Gaya, A. R., Alves, A., Aires, L., Martins, C. L., Ribeiro, J. C., & Mota, J. (2009). Association between time spent in sedentary, moderate to vigorous physical activity, body mass index, cardiorespiratory fitness and blood pressure. *Annals of Human Biology*, 36(4), 379–387.
- Gentil, P., Soares, S., & Bottaro, M. (2015). Single vs. Multi-Joint Resistance Exercises: Effects on Muscle Strength and Hypertrophy. *Asian J Sports Med*, 6(2).  
<https://doi.org/10.5812/asjms.24057>
- Giraldo-García, J. C., & Hernández-Hernández, M. E. (2020). Relación entre la eco-intensidad y el espesor muscular del cuádriceps con la potencia de salto vertical en niños escolares: una prueba piloto. *Rev Andal Med Deporte.*, 13(3), 155–161.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.33155/j.ramd.2020.02.002>
- Gomez-Bruton, A., Gabel, L., Nettlefold, L., Macdonald, H., Race, D., & McKay, H. (2019). Estimation of peak muscle power from a countermovement vertical jump in children and adolescents. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(2), 390–398.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002002>

- Gómez, R., De Marco, A., De Arruda, M., Martínez, C., Salazar, C., Valgas, C., ... Cossio-Bolaños, M. (2013). Predicción de ecuaciones para el porcentaje de grasa a partir de circunferencias corporales en niños pre-púberes. *Nutr Hosp*, 28, 772–778.  
<https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.3.6351>
- Grosset, J.-F., Mora, I., Lambertz, D., & Pérot, C. (2007). Changes in stretch reflexes and muscle stiffness with age in prepubescent children. *Journal of Applied Physiology*, 102(6), 2352–2360.
- Heredia, J. M., Tejada, V., Ventaja, J., & Orantes, E. (2015). Valoración de la grasa corporal: ultrasonidos frente a sistemas de bioimpedancia tetrapolar y antropometría. Estudio piloto. *Arch Med Deporte*, 32, 20–24.
- Hind, K., & Burrows, M. (2007). Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: a review of controlled trials. *Bone*, 40(1), 14–27.
- Jacobs, J., Jansen, M., Janssen, H., Raijmann, W., Van Alfen, N., & Pillen, S. (2013). Quantitative muscle ultrasound and muscle force in healthy children: A 4-year follow-up study. *Muscle Nerve*, 47, 856–863. <https://doi.org/10.1002/mus.23690>
- Jenkins, N. D. M. (2016). Are Resistance Training-Mediated Decreases in Ultrasound Echo Intensity Caused by Changes in Muscle Composition, or Is There an Alternative Explanation? *Ultrasound in Medicine and Biology*, 42(12), 3050–3051.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2016.07.011>
- Jenkins, N. D. M., Miller, J. M., Buckner, S. L., Cochrane, K. C., Bergstrom, H. C., Hill, E. C., ... Cramer, J. T. (2015). Test–Retest Reliability of Single Transverse versus Panoramic Ultrasound Imaging for Muscle Size and Echo Intensity of the Biceps Brachii. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 41(6), 1584–1591.

<https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2015.01.017>

- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceição, F., Cuadrado-Peñañiel, V., González-Badillo, J. J., & Morin, J.-B. (2017). Validity of a Simple Method for Measuring Force-Velocity-Power Profile in Countermovement Jump. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 36–43. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2015-0484>
- Kanehisa, H., Yata, H., Ikegawa, S., & Fukunaga, T. (1995). A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscles during growth. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(1), 150–156. <https://doi.org/10.1007/BF00964130>
- Keller, B. A. (2008). State of the Art Reviews: Development of Fitness in Children: The Influence of Gender and Physical Activity. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 2(1), 58–74. <https://doi.org/10.1177/1559827607308802>
- Kleinberg, C. R., Ryan, E. D., Tweedell, A. J., Barnette, T. J., & Wagoner, C. W. (2016). Influence of lower extremity muscle size and quality on stair-climb performance in career firefighters. *J Strength Cond Res*, 30, 1613–1618.
- Komi, P. V., Viitasalo, J. H., Havu, M., Thorstensson, A., Sjödín, B., & Karlsson, J. (1977). Skeletal muscle fibres and muscle enzyme activities in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiologica Scandinavica*, 100(4), 385–392.
- Kotzamanidis, C. (2006). Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 441.
- Lara, A. (2008). *Biomecánica de la arquitectura muscular y potencia mecánica de salto en jóvenes*. Sevilla: Wanceulen SL.
- Lemura, L. M., von Dullivard, S. P., Carlonas, R., & Andreacci, J. (1999). Can exercise training

- improve maximal aerobic power (VO<sub>2</sub>max) in children: a meta-analytic review. *J Exerc Physiol*, 2(3), 1–14.
- Lin, J. P., Brown, J. K., & Walsh, E. G. (1994). Physiological maturation of muscles in childhood. *Lancet*, 343, 1386–1389.
- Lloyd, R. S., Faigenbaum, A. D., Stone, M. H., Oliver, J. L., Jeffreys, I., Moody, J. A., ... Howard, R. (2014). Position statement on youth resistance training: the 2014 International Consensus. *Br J Sports Med*, 48(7), 498–505.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011). The Influence of Chronological Age on Periods of Accelerated Adaptation of Stretch-Shortening Cycle Performance in Pre and Postpubescent Boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1889–1897. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e7faa8>
- Mangine, G. T., Fukuda, D. H., LaMonica, M. B., Gonzalez, A. M., Wells, A. J., Townsend, J. R., ... Hoffman, J. R. (2014). Influence of gender and muscle architecture asymmetry on jump and sprint performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(4), 904–911. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84908612592&partnerID=40&md5=95dd75f58e9f1758d44af7977a5a6b90>
- Manno, R. (2008). Muscle strength development in children and adolescents: Training and physical conditioning. *Medicina Dello Sport*, 61(3), 273–297.
- Marcon, M., Ciritsis, B., Laux, C., Nanz, D., Nguyen-Kim, T. D. L., Fischer, M. A., ... Ulbrich, E. J. (2014). Cross-sectional area measurements versus volumetric assessment of the quadriceps femoris muscle in patients with anterior cruciate ligament reconstructions. *European Radiology*, 25(2), 290–298. <https://doi.org/10.1007/s00330-014-3424-2>
- Marta, C., Marinho, D. A., & Marques, M. C. (2012). Physical fitness in prepubescent children:

- an update. *Journal of Physical Education and Sport*, 12(4), 445.
- Martin, D., Nicolaus, J., & Ostrowski, C. (2004). *Metodología general del entrenamiento infantil y juvenil* (Vol. 24). Editorial Paidotribo.
- Martin, R., Dore, E., Twisk, J., Van Praagh, E., Hautier, C. A., & Bedu, M. (2004). Longitudinal changes of maximal short-term peak power in girls and boys during growth. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 498–503.
- McCormack, W. P., Stout, J. R., Wells, A. J., Gonzalez, A. M., Mangine, G. T., Fragala, M. S., & Hoffman, J. R. (2014). Predictors of high-intensity running capacity in collegiate women during a soccer game. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(4), 964–970.
- McKay, H., Tsang, G., Heinonen, A., MacKelvie, K., Sanderson, D., & Khan, K. M. (2005). Ground reaction forces associated with an effective elementary school based jumping intervention. *British Journal of Sports Medicine*, 39(1), 10–14.
- Melvin, M. N., Smith-Ryan, A. E., Wingfield, H. L., Fultz, S. N., & Roelofs, E. J. (2014). Evaluation of Muscle Quality Reliability and Racial Differences in Body Composition of Overweight Individuals. *Ultrasound Med Biol*, 40, 1973–1979.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.03.012>
- Melvin, M. N., Smith-Ryan, A. E., Wingfield, H. L., Ryan, E. D., Trexler, E. T., & Roelofs, E. J. (2014). Muscle characteristics and body composition of NCAA division I football players. *J Strength Cond Res*, 28, 3320–3329.
- Menon, M. K., Houchen, L., Harrison, S., Singh, S. J., Morgan, M. D., & Steiner, M. C. (2012). Ultrasound assessment of lower limb muscle mass in response to resistance training in COPD. *Respiratory Research*, 13(1), 119. <https://doi.org/10.1186/1465-9921-13-119>
- Miura, A., Endo, M., Sato, H., Sato, H., Barstow, T. J., & Fukuba, Y. (2002). Relationship

- between the curvature constant parameter of the power-duration curve and muscle cross-sectional area of the thigh for cycle ergometry in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 87(3), 238–244. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0623-3>
- Moreau, N. G., Simpson, K. N., Teehey, S. A., & Damiano, D. L. (2010). Muscle architecture predicts maximum strength and is related to activity levels in cerebral palsy. *Phys Ther*, 90, 1619–1630.
- Mota, J. A., Stock, M. S., & Thompson, B. J. (2017). Vastus lateralis and rectus femoris echo intensity fail to reflect knee extensor specific tension in middle-school boys. *Physiological Measurement*, 38(8), 1529–1541. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aa791a>
- Mundy, L. K., Simmons, J. G., Allen, N. B., Viner, R. M., Bayer, J. K., Olds, T., ... Patton, G. C. (2013). Study protocol: the Childhood to Adolescence Transition Study (CATS). *BMC Pediatrics*, 13(1), 160–172. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-13-160>
- Ng, K. W., Connolly, A. M., & Zaidman, C. M. (2015). Quantitative muscle ultrasound measures rapid declines over time in children with SMA type 1. *Journal of the Neurological Sciences*, 358, 178–182. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2015.08.1532>
- Nishihara, K., Kawai, H., Hayashi, H., Naruse, H., Kimura, A., Gomi, T., & Hoshi, F. (2014). Frequency analysis of ultrasonic echo intensities of the skeletal muscle in elderly and young individuals. *Clinical Interventions in Aging*, 9, 1471–1478. <https://doi.org/10.2147/CIA.S67820>
- O'Brien, T. D., Reeves, N. D., Baltzopoulos, V., Jones, D. A., & Maganaris, C. N. (2009). Strong relationships exist between muscle volume, joint power and whole-body external mechanical power in adults and children. *Experimental Physiology*, 94(6), 731–738.
- Retrieved from



<https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1113/expphysiol.2008.045062>

- O'Donovan, G., Blazeovich, A. J., Boreham, C., Cooper, A. R., Crank, H., Ekelund, U., ... Gill, J. M. R. (2010). The ABC of Physical Activity for Health: a consensus statement from the British Association of Sport and Exercise Sciences. *Journal of Sports Sciences*, 28(6), 573–591.
- Obert, P., Mandigouts, S., Nottin, S., Vinet, A., N'Guyen, L. D., & Lecoq, A. M. (2003). Cardiovascular responses to endurance training in children: effect of gender. *European Journal of Clinical Investigation*, 33(3), 199–208.
- Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J., & Sjöström, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *International Journal of Obesity*, 32(1), 1–11. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/0803774.pdf>
- Ortega, F. B., Silventoinen, K., Tynelius, P., & Rasmussen, F. (2012). Muscular strength in male adolescents and premature death: cohort study of one million participants. *Bmj*, 345, e7279.
- Ortega, F. B., Tresaco, B., Ruiz, J. R., Moreno, L. A., Martin-Matillas, M., Mesa, J. L., ... Gutiérrez, A. (2007). Cardiorespiratory fitness and sedentary activities are associated with adiposity in adolescents. *Obesity*, 15(6), 1589–1599.
- Özdemir, H., Kayhan, S., Konus, Ö., Aytakin, C. C., Baran, Ö., Ataman, A., ... Beyazova, U. (1995). Quadriceps muscle thickness and subcutaneous tissue thickness in normal children in Turkish population: sonographic evaluation. *Gazi Med. J.*, 6(3), 141–144.
- Parry, S. M., El-Ansary, D., Cartwright, M. S., Sarwal, A., Berney, S., Koopman, R., ... Denehy, L. (2015). Ultrasonography in the intensive care setting can be used to detect changes in the quality and quantity of muscle and is related to muscle strength and function. *Journal of Critical Care*, 30(5), 1151.e9-1151.e14. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2015.05.024>

- Petersen, S. R., Gaul, C. A., Stanton, M. M., & Hanstock, C. C. (1999). Skeletal muscle metabolism during short-term, high-intensity exercise in prepubertal and pubertal girls. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2151–2156.
- Pianosi, P., Seargeant, L., & Haworth, J. C. (1995). Blood lactate and pyruvate concentrations, and their ratio during exercise in healthy children: developmental perspective. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 71(6), 518–522.
- Prado, D. M. L. de, Dias, R. G., & Trombetta, I. C. (2006). Cardiovascular, ventilatory, and metabolic parameters during exercise: differences between children and adults. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 87(4), e149–e155.
- Prentice, A., Schoenmakers, I., Laskey, M. A., de Bono, S., Ginty, F., & Goldberg, G. R. (2006). Symposium on ‘Nutrition and health in children and adolescents’ Session 1: Nutrition in growth and development Nutrition and bone growth and development: A meeting of the Nutrition Society hosted by the Irish Section was held on 14–16 June 2006 at Unvers. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65(4), 348–360.
- Quatman, C. E., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2006). Maturation leads to gender differences in landing force and vertical jump performance: a longitudinal study. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(5), 806–813.
- Radaelli, R., Botton, C. E., Wilhelm, E. N., Bottaro, M., Lacerda, F., Gaya, A., ... Pinto, R. S. (2013). Low- and high-volume strength training induces similar neuromuscular improvements in muscle quality in elderly women. *Experimental Gerontology*, 48(8), 710–716. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.04.003>
- Reimers, K. et. al. (1993). Skeletal muscle sonography: a correlative study of echogenicity and morphology. *J Ultrasound Med*, 12, 73–77.

- Ríos, L. V. (2010). *Manual de ecografía musculoesquelética*. Médica Panamericana.
- Robertson, D., & Mosher, R. (1985). Work and power of the leg muscles in soccer kicking. *Biomechanics IX-B*, 533–538.
- Rutkove, S. B., Geisbush, T. R., Mijailovic, A., Shklyar, I., Pasternak, A., Visyak, N., ... Darras, B. T. (2014). Cross-sectional evaluation of electrical impedance myography and quantitative ultrasound for the assessment of Duchenne muscular dystrophy in a clinical trial setting. *Pediatr Neurol*, 51, 88–92.
- Sahrom, S., Cronin, J., & Harris, N. (2014). Slow Stretch-Shorten Cycle Characteristics: Gender and Maturation Differences in Singaporean Youths. *Journal of Athletic Enhancement*, 03(06), 2. <https://doi.org/10.4172/2324-9080.1000179>
- Sallis, J. F., Prochaska, J. J., & Taylor, W. C. (2000). A review of correlates of physical activity of children and adolescents. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(5), 963–975.
- Saltin, B., & Gollnick, P. D. (1983). Handbook of Physiology. Skeletal Muscle.
- Sanada, K., Kearns, C. F., Midorikawa, T., & Abe, T. (2006). Prediction and validation of total and regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults. *European Journal of Applied Physiology*, 96(1), 24–31. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0061-0>
- Santos, A., Marinho, D., Costa, A., Izquierdo, M., & Marques, M. (2012). The effects of concurrent resistance and endurance training follow a detraining period in elementary school students. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1708–1716.
- Santos, R., & Armada-da-Silva, P. A. S. (2017). Reproducibility of ultrasound-derived muscle thickness and echo-intensity for the entire quadriceps femoris muscle. *Radiography*, 23(3), e51–e61. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2017.03.011>
- Sarzynski, M. A., Eisenmann, J. C., Welk, G. J., Tucker, J., Glenn, K., Rothschild, M., &

- Heelan, K. (2010). ACE I/D genotype, habitual physical activity, and blood pressure in children. *Pediatric Exercise Science*, 22(2), 301–313.
- Sayers, S. P., Harackiewicz, D. V., Harman, E. A., Frykman, P. N., & Rosenstein, M. T. (1999). Cross-validation of three jump power equations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(4), 572–577. Retrieved from [https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/1999/04000/Cross\\_validation\\_of\\_three\\_jump\\_power\\_equations.13.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/1999/04000/Cross_validation_of_three_jump_power_equations.13.aspx)
- Scholten, R. R., Pillen, S., Verrips, A., & Zwarts, M. J. (2003). Quantitative ultrasonography of skeletal muscles in children: normal values. *Muscle Nerve*, 27, 693–698.
- Sedentarismo, G. (2005). Consenso sobre factores de riesgo de enfermedad cardiovascular en pediatría. Sedentarismo. *Arch. Argent. Pediatr*, 103(5), 450–475.
- Souza, A., Bottaro, M., Valdinar, R., Lage, V., Tufano, J., & Vieira, A. (2020). Reliability and Test-Retest Agreement of Mechanical Variables Obtained During Countermovement Jump. *International Journal of Exercise Science*, 13(3), 6–17. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7039490/pdf/ijes-13-4-6.pdf>
- Stock, M. S., Mota, J. A., Hernandez, J. M., & Thompson, B. J. (2017). Echo intensity and muscle thickness as predictors Of athleticism and isometric strength in middle-school boys. *Muscle & Nerve*, 55(5), 685–692. <https://doi.org/10.1002/mus.25395>
- Stock, M. S., Whitson, M., Burton, A. M., Dawson, N. T., Sobolewski, E. J., & Thompson, B. J. (2018). Echo Intensity Versus Muscle Function Correlations in Older Adults are Influenced by Subcutaneous Fat Thickness. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 44(8), 1597–1605. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.04.009>
- Strasser, E. M., Draskovits, T., Praschak, M., Quittan, M., & Graf, A. (2013). Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and

- skeletal muscle strength in the elderly. *Age*. <https://doi.org/10.1007/s11357-013-9517-z>
- Strong, W. B., Malina, R. M., Blimkie, C. J. R., Daniels, S. R., Dishman, R. K., Gutin, B., ... Pivarnik, J. M. (2005). Evidence based physical activity for school-age youth. *The Journal of Pediatrics*, 146(6), 732–737.
- Team, R. C. (2013). R: A language and environment for statistical computing.
- Temfemo, A., Hugues, J., Chardon, K., Mandengue, S.-H., & Ahmaidi, S. (2009). Relation between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls.pdf. *European Journal of Pediatrics*, 168(4), 457–464. <https://doi.org/10.1007/s00431-008-0771-5>
- Tomprowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educational Psychology Review*, 20(2), 111.
- Tovar, G., Gutierrez, J., Ibañez, M., & Lobelo, F. (2008). Sobrepeso, inactividad física y baja condición física en un colegio de Bogotá, Colombia. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 58(3).
- Uzunović, S., Milanović, D., Pantelić, S., Kostić, R., Milanović, Z., & Milić, V. (2015). Physical characteristics and explosive strenght of schoolchildren. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport*, 241–250. Retrieved from <http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUPhysEdSport/article/view/510/391>
- Van Praagh, E., & Doré, E. (2002). Short-Term Muscle Power During Growth and Maturation. *Sports Medicine*, 32(11), 701–728. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232110-00003>
- Vicente-Rodríguez, G., Ara, I., Pérez-Gómez, J., Serrano-Sánchez, J. A., Dorado, C., & Calbet, J. A. L. (2004). High Femoral Bone Mineral Density Accretion in Prepubertal Soccer

Players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(10), 1789–1795.

<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000142311.75866.D7>

Voss, C., Ogunleye, A. A., & Sandercock, G. R. H. (2013). Physical Activity Questionnaire for children and adolescents: English norms and cut-off points. *Pediatrics International*, 55(4), 498–507.

Vrijens, J. (1978). Muscle Strength Development in the Pre- and Post-Pubescent Age. In *Medicine and Sport Science* (pp. 152–158). <https://doi.org/10.1159/000401890>

Walker, F., & Cartwright, M. S. (2012). *Ecografía neuromuscular*. Elsevier Health Sciences.

Welsman, J. R., Armstrong, N., Kirby, B. J., Winsley, R. J., Parsons, G., & Sharpe, P. (1997).

Exercise performance and magnetic resonance imaging-determined thigh muscle volume in children. *European Journal of Applied Physiology*, 76(1), 92–97.

<https://doi.org/10.1007/s004210050218>

Whittaker, J. L., & Stokes, M. (2011). Ultrasound imaging and muscle function. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 41(8), 572–580.

Whittaker, J. L., Teyhen, D. S., Elliott, J. M., Cook, K., Langevin, H. M., Dahl, H. H., & Stokes, M. (2007). Rehabilitative ultrasound imaging: understanding the technology and its applications. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37(8), 434–449.

WHO. (2010). Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud. Retrieved February 17, 2019, from

[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44441/9789243599977\\_spa.pdf;jsessionid=C2E26978FA3D634D3BB1D3B527785028?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44441/9789243599977_spa.pdf;jsessionid=C2E26978FA3D634D3BB1D3B527785028?sequence=1)

Wilhelm, E., Rech, A., Minozzo, F., Radaelli, R., & Botton, C. (2014). Relationship between quadriceps femoris echo intensity, muscle power, and functional capacity of older men.

- Age*. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/s11357-014-9625-4>
- Williams, J. R., & Armstrong, N. (1991). The influence of age and sexual maturation on children's blood lactate responses to exercise. *Pediatric Exercise Science*, 3(2), 111–120.
- Wu, J. S., Darras, B. T., & Rutkove, S. B. (2010). Assessing spinal muscular atrophy with quantitative ultrasound. *Neurology*, 75(6), 526–531.  
<https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181eccf8f>
- Young, H., Jenkins, N. T., Zhao, Q., & McCully, K. K. (2015). Measurement of Intramuscular Fat by Muscle Echo Intensity. *Muscle & Nerve*, 52(6), 963–971.  
<https://doi.org/10.1002/mus.24656>
- Young, H., Southern, W. M., & McCully, K. K. (2016). Comparisons of ultrasound-estimated intramuscular fat with fitness and health indicators. *Muscle & Nerve*, 54(4), 743–749.  
<https://doi.org/10.1002/mus.25105>
- Zanconato, S., Buchthal, S., Barstow, T. J., & Cooper, D. M. (1993). <sup>31</sup>P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *Journal of Applied Physiology*, 74(5), 2214–2218. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.5.2214>

## 11. Anexos

### 11.1 Anexo 1. Cuestionario PAQC

#### CUESTIONARIO PAQ-C

Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_ Fecha de nacimiento (día, mes y año): / / Género: niño ☐ niña ☐. Has nacido en: Colombia ☐ Otro país ☐ ¿En cuál?

\_\_\_\_\_

Estrato: \_\_\_\_\_

Queremos conocer cuál es tu nivel de actividad física en los últimos 7 días (última semana). Esto incluye todas aquellas actividades como deportes, gimnasia o danza que hacen sudar o sentirte cansado, o juegos que hagan que se acelere tu respiración como jugar al pilla-pilla, saltar a la comba, correr, trepar y otras. Recuerda: – No hay preguntas buenas o malas. Esto **NO** es un examen. – Contesta las preguntas de la forma más honesta y sincera posible. Esto es muy importante.

1. Actividad Física en tu tiempo libre: ¿Has hecho alguna de estas actividades en los últimos 7 días (última semana)? Si tu respuesta es sí: ¿cuántas veces las has hecho?

| (Marca un solo círculo por actividad).        | NO                       | 1-2                      | 3-4                      | 5-6                      | 7 veces<br>o más         |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Saltar a la comba(cuerda).....                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Patinar o patinar sobre hielo .....           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Jugar a juegos como el pilla-pilla(la llevas) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Montar en bicicleta .....                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Caminar (como ejercicio) .....                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Correr/carreras .....                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Aeróbic .....                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Natación .....                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Bailar/danza .....                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Bádminton .....                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Pelota a mano .....                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Montar en monopatín o patinete ....           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Fútbol/fútbol sala .....                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



|  |                          |                          |                          |                          |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Voleibol .....                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Hockey .....                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Baloncesto .....                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Esquiar .....                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Otros deportes de raqueta .....          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Balonmano .....                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Atletismo .....                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Musculación/pesas .....                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Artes marciales (judo, kárate, ...) .... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Otros:                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Otros:                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

2. En los últimos 7 días, durante las clases de educación física, ¿cuántas veces estuviste muy activo durante las clases: jugando intensamente, corriendo, saltando, haciendo lanzamientos? (Señala sólo una).
  - No hice o no hago educación física ..... ☐
  - Casi nunca ..... ☐
  - Algunas veces ..... ☐
  - A menudo ..... ☐
  - Siempre ..... ☐
3. En los últimos 7 días ¿qué hiciste la mayoría del tiempo en el recreo escolar? (Señala sólo una).
  - Estar sentado (hablar, leer, hacer deberes) ..... ☐
  - Estar o pasear por los alrededores ..... ☐
  - Correr o jugar un poco ..... ☐
  - Correr y jugar bastante ..... ☐
  - Correr y jugar intensamente todo el tiempo ..... ☐
4. En los últimos 7 días ¿qué hiciste normalmente a la hora de la comida (antes y después de comer)? (Señala sólo una).
  - Estar sentado (hablar, leer, hacer deberes) ..... ☐
  - Estar o pasear por los alrededores ..... ☐
  - Correr o jugar un poco ..... ☐
  - Correr y jugar bastante ..... ☐
  - Correr y jugar intensamente todo el tiempo ..... ☐
5. En los últimos 7 días, inmediatamente después de la escuela hasta las 6, ¿cuántos días jugaste a algún juego, hiciste deporte o bailes en los que estuvieras muy activo? (Señala sólo una).
  - Ninguno ..... ☐
  - 1 vez en la última semana ..... ☐
  - 2-3 veces en la última semana ..... ☐
  - 4 veces en la última semana ..... ☐
  - 5 veces o más en la última semana ..... ☐
6. En los últimos 7 días, ¿cuántos días a partir de media tarde (entre las 6 y las 10) hiciste deportes, baile o jugaste a juegos en los que estuvieras muy activo? (Señala sólo una).
  - Ninguno ..... ☐
  - 1 vez en la última semana ..... ☐
  - 2-3 veces en la última semana ..... ☐

- 4 veces en la última semana ..... ☐
- 5 veces o más en la última semana ..... ☐
7. El último fin de semana, ¿cuántas veces hiciste deportes, bailes o jugar a juegos en los que estuviste muy activo? (Señala sólo una).
- Ninguna ..... ☐
- 1 vez ..... ☐
- 2-3 veces ..... ☐
- 4 veces ..... ☐
- 5 veces o más ..... ☐
8. ¿Cuál de las siguientes frases describen mejor tu última semana? Lee las cinco antes de decidir cuál te describe mejor. (Señala sólo una).
- Todo o la mayoría de mi tiempo libre lo dediqué a actividades que suponen poco esfuerzo físico ..... ☐
- Algunas veces (1 o 2 veces) hice actividades físicas en mi tiempo libre (por ejemplo, hacer deportes, juegos de correr, nadar, montar en bicicleta) ..... ☐
- A menudo (3-4 veces a la semana) hice actividad física en mi tiempo libre ..... ☐
- Bastante a menudo (5-6 veces en la última semana) hice actividad física en mi tiempo libre ..... ☐
- Muy a menudo (7 o más veces en la última semana) hice actividad física en mi tiempo libre ..... ☐
9. Señala con qué frecuencia hiciste actividad física para cada día de la semana (como hacer deporte, jugar, bailar o cualquier otra actividad física).
- |                | Ninguna               | Poca                  | Normal                | Bastante              | Mucha                 |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Lunes.....     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Martes.....    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Miércoles..... | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Jueves.....    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Viernes.....   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Sábado.....    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Domingo.....   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
10. ¿Estuviste enfermo esta última semana o algo impidió que hicieras normalmente actividades físicas?
- Sí ..... ☐
- No ..... ☐

## 11.2 Anexo 2. Consentimiento informado

### **POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID FACULTAD DE EDUCACION FISICA, RECREACION Y DEPORTE FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PADRES**

**Estimado Sr. (Sra.)**

Su hijo/a ha sido invitado a participar en la investigación titulada **“EVALUACIÓN ECOGRÁFICA DEL CUÁDRICEPS Y POTENCIA DE SALTO VERTICAL EN NIÑOS ENTRE 7 Y 10 AÑOS DEL CLUB DEPORTIVO SAN JOSÉ DE LAS VEGAS”**, dirigida por el Médico Especialista en Medicina Deportiva Juan Carlos Giraldo García, Docentes de la Facultad de Educación física, Recreación y Deporte del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

Este es un formulario de consentimiento informado cuyo objetivo es entregar toda la información necesaria para que Ud. decida si desea o no participar en esta investigación. El Profesor Juan Carlos Giraldo García hablará con usted acerca de esta información y usted es libre de hacer preguntas en cualquier momento. Si usted está de acuerdo en que su hijo/a participe, se le pedirá que firme este formulario de consentimiento y, si lo requiere, se le dará una copia para que la guarde.

El objetivo de este estudio es evaluar el músculo cuádriceps por ecografía y la potencia del salto vertical en niños y niñas entre 7 y 10 años de la escuela de iniciación deportiva del Club Deportivo San José de las Vegas.

Este estudio permitirá identificar las características de las capacidades físicas del niño(a).

La participación de su hijo/a es voluntaria, consistirá en:

- Contestar unas preguntas con respecto al ejercicio que realiza el niño(a).
- La medición antropométrica básica (Masa, Estatura, % de grasa)
- La realización de una ecografía del muslo: procedimiento indoloro, no invasivo que solo implica señalar con un marcador dos puntos del muslo en su región anterior donde se tomará la ecografía y aplicar un gel que luego se limpiará con papel desechable.
- La realización de una serie de saltos similares a los realizados en sus diferentes actividades deportivas con la diferencia que se harán sobre un tapete.
- La actividad tendrá una duración de 20 minutos, se realizará en un espacio adecuado que el club dispondrá.

El que su hijo/a participe de este estudio no conlleva riesgos para su salud debido a que la ecografía es un método que no produce radiaciones ionizantes (dañinas). Ante cualquier eventualidad el médico que realizará las evaluaciones hará la atención y el seguimiento pertinente.

Si Usted no desea que su hijo/a participe no implicará sanción. Además, su hijo/a tiene el derecho a negarse a responder a preguntas concretas, también puede optar por retirarse de este estudio

en cualquier momento y la información que hemos recogido será descartada del estudio y eliminada.

La participación de su hijo/a es totalmente confidencial, ni su nombre ni su número de identificación, ni ningún tipo de información que pueda identificarlo aparecerá en los registros del estudio, ya que se utilizarán códigos. El almacenamiento de los códigos estará a cargo del investigador Responsable.

Su hijo/a no se beneficiará económicamente de participar en este estudio, sin embargo, la información que pueda obtenerse a partir de su participación será de utilidad para conocer el funcionamiento muscular del niño(a) en la realización de ejercicio físico.

El participar en este estudio no tiene costos para su hijo/a. Si Ud. desea, se le entregará un informe con los resultados de los obtenidos una vez finalizada la investigación.

Los resultados del estudio serán utilizados con fines científicos y divulgados en revistas científicas.

Una vez finalizada la investigación Usted podrá conocer los resultados de su hijo. La información será almacenada por el responsable de la investigación y quedará bajo su resguardo. Si tiene dudas o consultas respecto de la participación de su hijo/a en el estudio puede contactar al investigador responsable de este estudio, Profesor Juan Carlos Giraldo García, quien trabaja en la facultad de educación física, recreación y deporte del politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Celular contacto: 3006129784, correo electrónico: [juangiraldopolitecnico@gmail.com](mailto:juangiraldopolitecnico@gmail.com). Oficina P19-210-módulo F.

Si durante la investigación Usted tiene algún comentario o preocupación relacionada con la conducción de la investigación o preguntas sobre sus derechos al participar en el estudio, puede dirigirse al investigador responsable con los datos de contacto arriba anotados.

**Quedando claro los objetivos del estudio, las garantías de confidencialidad y la aclaración de la información, acepto voluntariamente la participación de mi hijo/a en este estudio y firmo la autorización.**

Nombre padre o tutor: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

### 11.3 Anexo 3. Asentimiento

**POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID  
FACULTAD DE EDUCACION FISICA, RECREACION Y DEPORTE  
ASENTIMIENTO INFORMADO**

Hola, mi nombre es **JUAN CARLOS GIRALDO GARCÍA**, soy médico Especialista en Medicina Deportiva y trabajo en la **FACULTAD DE EDUCACION FISICA, RECREACION Y DEPORTE** del **POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID**. Actualmente estoy realizando un estudio para conocer las características ecográficas del músculo de los niños de 7 a 10 años de edad del Club Deportivo San José de las Vegas y para ello queremos pedirte que nos apoyes.

Tu participación en el estudio consistiría en llenar una corta información de la actividad física que haces en compañía de tus padres, permitir con un ecógrafo (un aparato especial con el cual le tomaremos una foto a tu músculo que no genera dolor) evaluar tu músculo y realizar unos saltos que normalmente realizas en los diferentes deportes que practicas.

Tu participación en el estudio es voluntaria, es decir, aun cuando tu papá y tu mamá hayan dicho que puedes participar, si tú no quieres hacerlo puedes decir que no. Es tu decisión si participas o no en el estudio. También es importante que sepas que, si en un momento dado ya no quieres continuar en el estudio, no habrá ningún problema, o si no quieres responder a alguna pregunta en particular, tampoco habrá problema.

Toda la información que nos proporciones/las mediciones que realicemos nos ayudarán a conocer el funcionamiento de tu organismo.

Esta información será confidencial. Esto quiere decir que no diremos a nadie tus respuestas (o resultados de mediciones), sólo lo sabrán las personas que forman parte del equipo de este estudio. Terminado el estudio le daremos información tanto a ti como a tus padres de tus resultados.

Si aceptas participar, te pido que por favor pongas una ( ✓ ) en el cuadrito de abajo que dice “Sí quiero participar” y escribe tu nombre.

Si no quieres participar, no pongas ninguna ( ✓ ), ni escribas tu nombre.

☐ Sí quiero participar

Nombre: \_\_\_\_\_

Nombre y firma de la persona que obtiene el asentimiento:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

Muchas gracias.

## 11.4 Anexo 4. Aval comité de Ética

POLITÉCNICO COLOMBIANO  
JAIME ISAZA CADAVID



21214001 - 201701009536

Medellín, 10/11/2017

Investigador  
Juan Carlos Giraldo García  
Facultad de Educación Física, Recreación y Deporte  
Medellín

Asunto: Aval Comité de Ética Poli Investiga - CEPI

Cordial saludo,

El Comité de Ética en sesión ordinaria del día 9 de noviembre del presente año analizó su solicitud de aval al proyecto: "Espesor muscular evaluada por ecografía potencia de salto vertical y la proporción de fibras rápidas en niños entre 7 y 9 años de la Escuela de Iniciación Deportiva del PCJIC", concluyéndose avalar el proyecto en Categoría de Riesgo Mayor que el Mínimo, tomando como normatividad marco la Resolución 8430 de 1993.

De igual manera se le solicita que dentro de la propuesta del proyecto se incluyan los aspectos concernientes al numeral 3.5, correspondientes a los aspectos éticos de acuerdo con la resolución 8430 de 1993.

Cualquier inquietud con gusto será atendida.

Se adjuntan a esta comunicación los compromisos que adquiere dado el aval de su proyecto.

Atentamente,

*Juan Carlo Blandón*

Juan Carlo Blandón Martínez  
Presidente  
Comité de ética  
Poli Investiga CEPI



POLITÉCNICO COLOMBIANO  
JAIME ISAZA CADAVID

Medellín, noviembre 10 de 2017

Investigador  
Juan Carlos Giraldo García  
Facultad de Educación Física, Recreación y Deporte  
Medellín

COMPROMISOS DEL INVESTIGADOR(A)

1. Remitir cualquier modificación al protocolo de Investigación, incluyendo instrumentos y formato de consentimiento informado.
2. Remitir notificación de cualquier evento adverso que se presente o se derive del proceso investigativo registrado ante el CEPI.
3. Remitir 3 Informes en el proceso del proyecto de Investigación.

Estaremos atentos a resolver cualquier duda.

*Firmado desde la comunicación radicada.*

Juan Carlos Blandón Martínez  
Presidente CEPI



